



Localización de Puntos Estratégicos de Gestión en la Sierra de Bascuñana (Cuenca)

MÁSTER EN INCENDIOS FORESTALES, CIENCIA Y GESTIÓN INTEGRAL.

Trabajo Fin de Máster.

Autor: Víctor Díaz Márquez.

Tutor: Domingo Molina Terrén.

FECHA: 28 de octubre de 2020.

RESUMEN

Las perturbaciones por incendios forestales han aumentado su frecuencia e intensidad debido a la acumulación de combustible en los montes y la mayor disponibilidad de los mismos debido al cambio climático.

El objetivo principal del estudio es reducir la ocurrencia futura de *Grandes Incendios Forestales*, entendiendo estos incendios como aquellos que mantienen de forma sostenida una velocidad, intensidad y longitud de llama que supera la capacidad del sistema de extinción en ataque directo. Para ello, se establece un programa de defensa contra incendios forestales basado en simulaciones del comportamiento del fuego en este tipo de escenarios para seleccionar *Puntos Estratégicos de Gestión* y evaluar prioridades de defensa mediante la creación de *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción* que permitan ejecutar a los equipos de extinción maniobras de ataque seguras para limitar la potencialidad de este tipo de incendios.

La metodología propuesta se considera válida como programa de defensa contra incendios forestales que limiten la propagación de esta tipología de incendios mediante modificación de modelos de combustible; mejora de la red de puntos de agua y accesos para aumentar la eficacia y eficiencia tanto de medios aéreos como dotar a medios terrestres de la posibilidad de realizar maniobras rápidas y de fácil consolidación; diseño de Planes de Operaciones previos en base al movimiento esperado de los incendios adelantando la búsqueda de oportunidades. Esta metodología supone una mejora importante de gestión de los recursos económicos dedicados a la prevención de incendios forestales respecto a metodologías tradicionales.

Palabras clave: *planificación, zona de mejora de operaciones de extinción, gran incendio forestal, Wildfire Analyst.*

ÍNDICE

RESUMEN.....	2
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	6
1.1. Introducción.....	6
1.2. Objetivos.....	7
1.3. Estructura.....	8
2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	9
2.1. Situación.....	9
2.2. Medio físico.....	11
2.2.1. Caracterización climática y meteorológica.....	11
2.2.2. Topografía.....	17
2.3. Vegetación.....	19
2.3.1. Modelos de combustible.....	20
3. INCENDIOS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	28
3.1. Estadística de incendios en la provincia de Cuenca.....	28
3.2. Recurrencia de incendios en la zona de estudio.....	30
3.3. Tipología de incendios forestales.....	31
3.3.1. Incendios dominados por viento.....	31
3.3.2. Incendios convectivos.....	31
3.3.3. Incendios topográficos.....	31
4. METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS PEGS.....	32
4.1. Determinación del “Incendio Tipo”.....	32
4.2. Simulación de incendios con Wilfire Analyst.....	33
4.2.1. Localización de peores puntos de inicio de incendios forestales.....	34
4.1.3. Localización de Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX).....	36
5. RESULTADOS.....	37
5.1. Incendio tipo.....	37
5.2. Localización de los PEGs.....	38
5.3. Diseño de una ZOMOEX.....	42
5.3.1. Modificaciones de los combustibles.....	43
5.3.2. Red de puntos de agua.....	45
5.3.3. Accesos para equipos de extinción y maquinaria pesada.....	47
5.3.3. Plan de operaciones tipo.....	48
6. CONCLUSIONES.....	50
7. BIBLIOGRAFÍA.....	51
8. ANEXOS.....	52

Tablas y figuras

Tabla 1. Superficie de la zona de estudio distribuida por municipios. Fuente. Elaboración propia.	10
Tabla 2. Coordenadas de los extremos de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	10
Tabla 3. Datos de la estación meteorológica de Mariana (Cuenca). Fuente. SIAR.	12
Tabla 4. Valores de precipitación y temperatura de la estación de Mariana para la serie 2004-2019. Fuente. SIAR.	14
Tabla 5. Registros de humedad relativa para la zona de estudio. Fuente. SIAR.	16
Tabla 6. Condiciones meteorológicas medias de la época de peligro. Fuente. Elaboración propia.	17
Tabla 7. Valores extremos meteorológicos para la realización de simulaciones. Fuente. Elaboración propia.	17
Tabla 8. Superficie ocupada por cada modelo de combustible. Fuente. GINFOR.	24
Tabla 9. Relación entre tiempo de retardo y diámetro del combustible. Fuente. <i>Rothermel, 1983</i>	26
Tabla 10. Estadística de <i>Grandes Incendios Forestales (GIF)</i> en la provincia de Cuenca. Fuente. Elaboración propia.	29
Tabla 11. Descripción de los incendios tipo de la zona. Fuente. <i>Acebrón, 2017</i>	33
Tabla 12. Variables utilizadas en la simulación de incendios forestales. Fuente. Elaboración propia.	35
Tabla 13. % de IFs y superficie afectada por condiciones sinópticas en Guadalajara. Fuente. <i>Acebrón, 2017</i>	37
Tabla 14. % de IFs y superficie afectada por afección sahariana en Guadalajara. Fuente. <i>Acebrón, 2017</i>	37
Tabla 15. % de IFs y superficie afectada por tipología de incendio en Guadalajara. Fuente. <i>Acebrón, 2017</i>	37
Tabla 16. Clasificación de la prioridad asignada a los PEGs. Fuente. Elaboración propia.	42
Tabla 17. Variables de comportamiento del fuego pre o post tratamiento. Fuente. Elaboración propia.	43
Tabla 18. Comparativa de optimización de recursos de metodología tradicional y PEG. Fuente. Elaboración propia.	44
Tabla 19. Comparativa de tratamientos de modificación del combustible. Fuente. Adaptación de <i>Quílez, 2015</i>	44
Tabla 20. Cadencia de descargas en función de distancia y densidad de ptos. de agua. Fuente. <i>Vázquez, 2015</i>	45
Tabla 21. Capacidad extintora en función de la cadencia de descargas. Fuente. <i>Vázquez, 2015</i>	45
Figura 1. Localización de la zona de estudio en la provincia de Cuenca. Fuente. Elaboración propia.	9
Figura 2. Términos municipales que comprende la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	10
Figura 3. Mapa de localización de la estación meteorológica de Mariana. Fuente. Elaboración propia.	12
Figura 4. Climodiagrama de <i>Walter-Lieth</i> . Fuente: <i>Procli</i>	14
Figura 5. Rosa de vientos para la zona de estudio. Fuente. <i>WRPLOT</i>	15
Figura 6. Mapa de pendientes de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	18
Figura 7. Mapa de orientaciones de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	19

Figura 8. Mapa de modelos de combustible de la zona de estudio. Fuente. <i>GINFOR</i>	23
Figura 9. Distribución de la fracción de cabida cubierta (<i>FCC</i>) en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	25
Figura 10. Evolución de los incendios forestales en Cuenca (1995-2015). Fuente. Elaboración propia.	28
Figura 11. Causalidad de los <i>IF</i> en Cuenca. Fuente. Elaboración propia.	28
Figura 12. Distribución de <i>IF</i> por rango de superficie y superficie quemada en Cuenca. Fuente. Elaboración propia.	29
Figura 13. <i>IFs</i> históricos >50 ha en la provincia de Cuenca (1980-2019). Fuente. <i>UNAP COR Castilla-La Mancha</i>	30
Figura 14. Puntos de inicio de <i>IF</i> en la zona de estudio y área de influencia. Fuente. <i>UNAP COR Castilla-La Mancha</i>	30
Figura 15. Principales ejes de propagación para las diferentes orientaciones de viento. Fuente. Elaboración propia.	38
Figura 16. Representación de los peores puntos de inicio de <i>IFs</i> en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	38
Figura 17. <i>MTT</i> obtenido a partir de simulaciones de <i>IFs</i> con origen en el punto 10. Fuente. Elaboración propia.	39
Figura 18. <i>PEGs</i> de la zona de estudio sobre el <i>MTT</i> del territorio. Fuente. Elaboración propia.	40
Figura 19. <i>PEGs</i> situados en zonas fuera de capacidad de extinción. Fuente. Elaboración propia.	40
Figura 20. Ubicación de un <i>PEG</i> sobre los intervalos de limitación por pte establecidos. Fuente. Elaboración propia.	41
Figura 21. Distribución de los <i>PEGs</i> clasificados en función de su puntuación. Fuente. Elaboración propia. ..	42
Figura 22. % de <i>PEGs</i> que cubren las zonas seleccionadas para ubicar pto de agua. Fuente. Elaboración propia.	46
Figura 23. Red de caminos y áreas cortafuegos de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	47
Figura 24. Deficiencias de acceso para realizar ataque directo en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.	48
Figura 25. Ejes de propagación y línea de control en condiciones de viento oeste. Fuente. Elaboración propia.	49

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

En la región mediterránea, el fuego ha sido un agente modelizador del paisaje desde hace miles de años. Por tanto, el paisaje que conocemos es fruto de la adaptación de las diferentes especies frente a las peculiaridades del clima mediterráneo y las perturbaciones por incendios forestales. Con el paso del tiempo, estas perturbaciones han aumentado su frecuencia e intensidad, donde el factor antrópico se encuentra estrechamente relacionado con la ocurrencia de incendios forestales. Este cambio en el comportamiento de los incendios forestales se encuentra relacionado en cierta medida con los siguientes factores:

- Acumulación de vegetación en los montes que favorece la existencia de grandes espacios forestales continuos con gran acumulación de material vegetal y sin elementos de fraccionamiento del territorio provocada fundamentalmente por las siguientes causas:
 - Abandono de usos tradicionales por la falta de rentabilidad de los aprovechamientos forestales y el empleo de combustibles fósiles.
 - Abandono de cultivos agrícolas que ejercen de superficies libres de vegetación arbustiva y arbórea y facilitan el control de los incendios.
 - Reducción de la ganadería extensiva que contribuye a reducir el material vegetal.
- El envejecimiento de la población rural y despoblamiento de amplias zonas del interior del país que reduce la mano de obra cualificada para los trabajos de mantenimiento del espacio forestal y la dotación de personal de las brigadas de extinción.
- La cada vez mayor superficie de la interfaz urbano-forestal y la necesaria obligación de anteponer la defensa de vidas y bienes humanos frente al propio espacio forestal.
- El incremento de las temperaturas provocado por el cambio climático que aumentará las condiciones de aridez de la Península Ibérica. La previsión de cada vez más frecuentes episodios de largas sequías y situaciones puntuales de fuertes vientos favorecerán las condiciones de propagación del fuego necesarias para la ocurrencia de incendios de grandes dimensiones. Por ello se hace necesaria una actuación sobre estos ecosistemas forestales que proporcione una mayor seguridad y oportunidad de defensa y/o ataque de los medios de extinción frente a los incendios forestales.

En el caso de España, los incendios forestales son un problema recurrente que anualmente genera grandes pérdidas económicas, ambientales, materiales y en numerosos casos, son los causantes de la pérdida de vidas humanas, tanto personal civil como de los propios servicios de extinción que en ellos actúan (*Molina et al., 2019*).

Por tanto, es de vital importancia el establecimiento de programas de defensa contra incendios forestales que limiten la propagación de este tipo de incendios denominados *Grandes Incendios Forestales (GIF)*, entendiendo *GIF* como aquel “incendio que mantiene de forma sostenida una velocidad, intensidad y longitud de llama que supera la capacidad del sistema de extinción y que, por tanto, ofrece pocas oportunidades de extinción” (*Costa et al., 2011*) y no tratar el concepto como una definición estadística que denomina *GIF* a aquel “incendio cuya superficie afectada supera las 500 ha”. Estos programas deberán fundamentarse en estudios analíticos de planificación para determinar el procedimiento, debidamente ordenado y estructurado, necesario para abordar con seguridad y realismo la toma de decisiones. La planificación debe contar con unos componentes que faciliten el marco de actuación en la aplicación del conjunto de medidas que, a consecuencia del análisis y posterior toma de decisión, se manifiesten de utilidad para la defensa contra los incendios forestales.

Para ello se propone una metodología basada en la selección de *Puntos Estratégicos de Gestión (PEG)* y evaluación de prioridades de defensa mediante la creación de *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX)*.

Los *PEG* en su origen son entendidos como “*Localizaciones del territorio en las cuales la modificación del combustible y/o la preparación de infraestructuras permiten al servicio de extinción ejecutar maniobras de ataque seguras para limitar la potencialidad de un GIF*” (*Costa et al., 2011*). Estos puntos del territorio, se

entienden también como aquellos puntos críticos que, una vez superados por el avance de un incendio forestal, implican un incremento en la afección de este sobre el territorio, tanto en superficie como en intensidad, limitando las posibilidades de extinción e incrementando su afección (*Escrig et al., 2013*). La denominación de “Puntos” deriva de una idea meramente geográfica y de escala, ya que a escala de paisaje estos puntos serán siempre áreas.

Dado que la mayoría de los expertos consideran que el concepto de *PEG* no está bien definido o es ambiguo se amplía la definición como “Áreas del territorio definidas y priorizadas de acuerdo a una metodología concreta que, teniendo en cuenta el riesgo de incendio, el comportamiento del fuego en la zona de estudio y la vulnerabilidad de sus valores naturales, rurales o urbanos a proteger, permita establecer y optimizar una planificación espacio-temporal de combustibles e infraestructuras que limite la potencialidad del incendio, detectando oportunidades de extinción y anticipando una estrategia de defensa eficaz y segura para grandes incendios forestales tipo para los que se ha diseñado” (*Madrigal et al., 2019*).

Esta definición implica una gran diferencia respecto a las clásicas infraestructuras preventivas de defensa contra incendios forestales que es su carácter proactivo, ya que su objetivo principal es aumentar la eficacia y eficiencia de las operaciones de extinción en escenarios de ocurrencia de GIFs en las que la estrategia, táctica y maniobras están predefinidas en base al “Incendio tipo”. En el diseño de dichas zonas se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Generar estructuras de modelos de combustible que se encuentren dentro de capacidad de extinción en ataque directo en escenarios de ocurrencia de GIF
- Mejorar las infraestructuras de apoyo a las operaciones de extinción
- Diseñar “Planes de operaciones tipo” en base al comportamiento de los GIF de la zona, donde se establezcan estrategias, tácticas y maniobras de ataque directo, paralelo o indirecto previas al desarrollo del incendio

La organización analítica necesaria para la elaboración del estudio de la defensa contra incendios forestales se estructura en tres fases:

- Fase de reconocimiento, necesario para conocer las características que definen la zona objeto de estudio
- Fase de evaluación y cálculo, donde se realiza el tratamiento y procesado de los datos registrados anteriormente. Permite obtener índices fundamentales para evaluar el establecimiento de prioridades
- Fase de toma de decisiones y diseño de las actuaciones a realizar

1.2. Objetivos

El objetivo principal del presente estudio de “Localización de Puntos Estratégicos de Gestión en la Sierra de Bascuñana (Cuenca) consiste en:

1. Reducir la ocurrencia futura de GIFs en la Sierra de Bascuñana
2. Minimizar los daños en caso de producirse un GIF
3. Dotar a los equipos de extinción de zonas que permitan realizar maniobras de ataque al incendio con seguridad
4. Mejorar las infraestructuras de apoyo a las operaciones de extinción

El objetivo principal se puede dividir en los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar los factores relacionados con la propagación de los incendios forestales en la Sierra de Bascuñana, especialmente los relacionados con la topografía, la meteorología y los combustibles
- Caracterizar el “incendio tipo” que define el comportamiento de los GIF de la zona de estudio
- Simular el comportamiento del fuego en situaciones de ocurrencia de GIFs
- Localizar los puntos que favorecen la propagación de los GIFs
- Diseñar actuaciones que minimicen la ocurrencia futura de GIFs o limiten la propagación de los mismos

1.3. Estructura

Para alcanzar los objetivos propuestos se organizará el estudio de la siguiente manera:

1. Caracterización de la zona de estudio haciendo especial énfasis en los factores que tienen una mayor implicación en el comportamiento de los incendios forestales como son la topografía, la meteorología y los combustibles.
2. Análisis histórico de incendios forestales, incidiendo en las principales causas, así como profundizando en la tipología de los mismos como punto de partida para definir incendio tipo y escenario que causa *GIF* en la provincia de Cuenca.
3. Simulación del comportamiento del fuego para la tipología de incendio y escenarios meteorológicos extremos utilizando el percentil 95 de los datos meteorológicos obtenidos para la zona de estudio en la anterior fase del trabajo.
4. Aplicación de la metodología propuesta para localizar los *PEGs* y evaluación de las prioridades de defensa mediante la creación de *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX)*.
5. Elaboración de propuestas de gestión de las *ZOMOEX* basadas en manejo del combustible para crear zonas dentro de capacidad de extinción en las cuales se puedan plantear planes de operaciones predefinidos para minimizar los daños en caso de producirse un incendio forestal además de una mejora de infraestructuras de apoyo a las operaciones de extinción de incendios forestales

2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona elegida para la realización de este estudio ha sido la “Sierra de Bascuñana” (Cuenca) por representar un bien de especial interés de los bienes forestales de la provincia de Cuenca. Su caracterización constituye la fase de reconocimiento necesaria para la elaboración del estudio de la defensa contra incendios forestales de la misma. En este apartado se expondrán las características principales de la zona de estudio.

2.1. Situación

La Sierra de Bascuñana se localiza en la provincia de Cuenca, al norte de la misma, en la alcarria conquense. Esta formación es una de las sierras más occidentales del Sistema Ibérico. Se trata de un anticlinal tumbado y asimétrico de dirección N-NO/S-SE de unos 3 km de amplitud y unos 35 km de longitud.

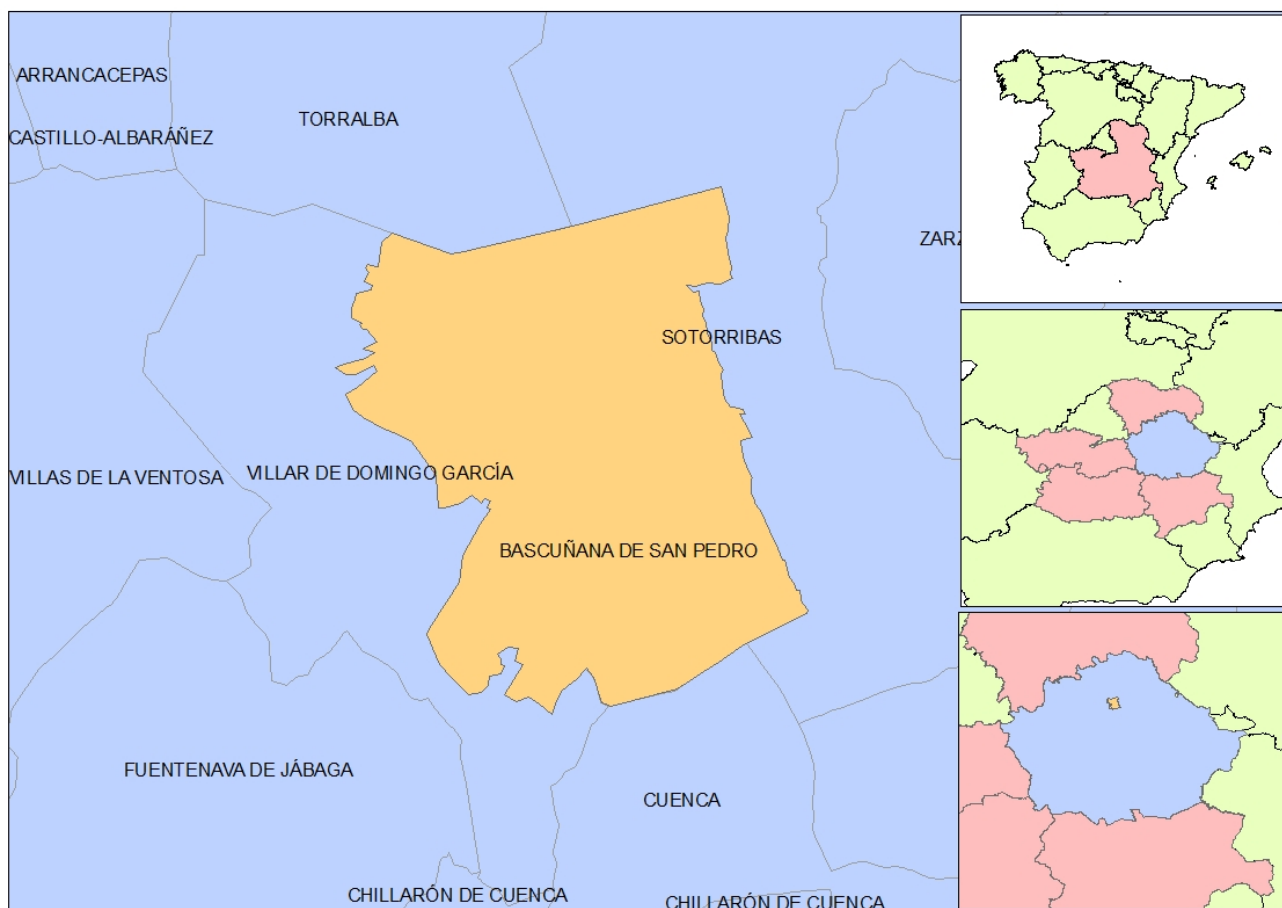


Figura 1. Localización de la zona de estudio en la provincia de Cuenca. Fuente. Elaboración propia.

La zona objeto de estudio se integra en tres municipios conquenses, comprendiendo la totalidad del municipio de Bascuñana de San Pedro y afectando parcialmente a Villar de Domingo García y Sotorribas. La superficie total es de 6513,38 hectáreas, distribuida en los municipios de la siguiente manera:

Tabla 1. Superficie de la zona de estudio distribuida por municipios. Fuente. Elaboración propia.

Término municipal	Superficie (ha)	%
Villar de Domingo García	2940,74	45,15
Bascuñana de San Pedro	1958,18	30,06
Sotorribas	1614,46	24,79
TOTAL	6513,38	100

Así mismo, los límites de la misma coinciden parcialmente con los límites de los términos municipales de Torralba y Cuenca. En la siguiente tabla (ver Tabla 2) se representan las coordenadas de los extremos que definen la zona de estudio.

Tabla 2. Coordenadas de los extremos de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

Coordenadas (ETRS 1989 UTM Zona 30N)	X	Y
Extremo superior izquierdo	561202	4457862
Extremo superior derecho	567966	4458822
Extremo inferior izquierdo	569745	4450053
Extremo inferior derecho	561920	4449609

En la siguiente figura (ver Figura 2) se representan los municipios incluidos en la zona de estudio:

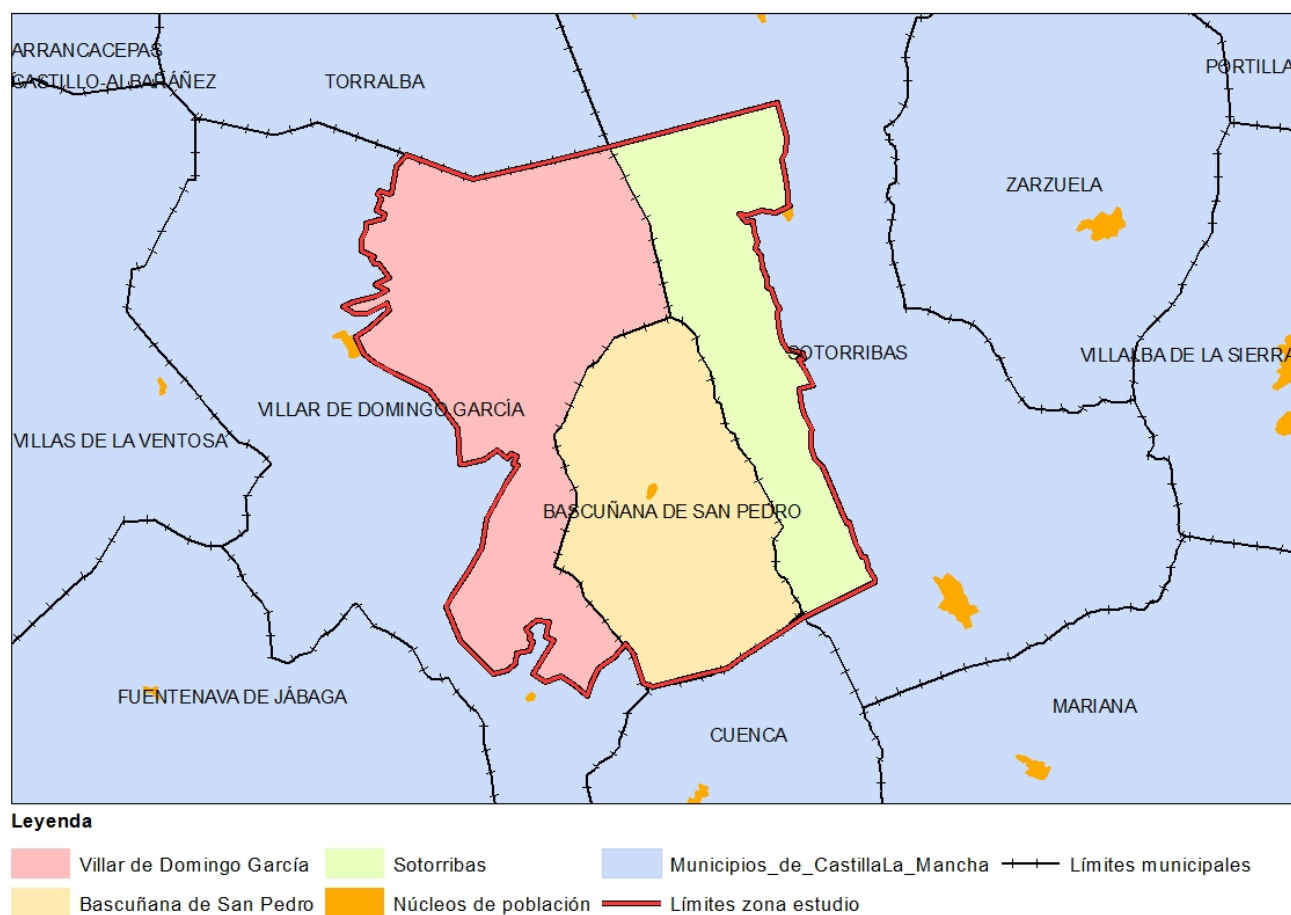


Figura 2. Términos municipales que comprende la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

2.2. Medio físico

En este apartado se describen aquellas variables del medio físico que tienen mayor peso desde el punto de vista de la prevención y extinción de incendios forestales y cuyo estudio permite conocer los factores necesarios para predecir el cambio de comportamiento del fuego según el sistema CPSL (*Campbell Prediction System Language*) (Campbell, 1995).

Los primeros elementos analizados han sido las variables meteorológicas que guardan mayor relación con el comportamiento del fuego en incendios forestales como son el régimen térmico y de humedades, así como el régimen de vientos, sin olvidar la pluviometría que tiene gran importancia desde el punto de vista de los combustibles y la disponibilidad de los mismos. También se analizan escenarios meteorológicos relacionados con episodios de GIF que son los que generan mayores dificultades desde el punto de vista de la extinción de incendios junto a situaciones de simultaneidad de incendios que pueden colapsar el sistema de extinción y causar importantes daños tanto a bienes forestales como materiales y vidas humanas.

Dentro de este estudio es necesario definir las variables bioclimáticas y fitoclimáticas que pueden ayudar a comprender la distribución y características de la vegetación existente, así como la capacidad de regeneración de ésta tras un episodio de fuego.

Posteriormente se analiza la conformación del terreno de la Sierra de Bascuñana, prestando especial atención a la existencia de barrancos, vaguadas y dorsales, a las pendientes y orientaciones. Todos estos factores son claves en el sistema de predicción del comportamiento del fuego de Campbell, además tienen una influencia indirecta sobre otros factores como son régimen de vientos y la distribución y disponibilidad de los combustibles.

Por último, se analiza la vegetación, describiendo sus principales características y tratándola como combustible debido al contexto en el que se realiza este estudio que es el de los incendios forestales.

Todos estos factores serán posteriormente empleados en el análisis de escenarios de ocurrencia de GIF y simulación de el comportamiento del fuego.

2.2.1. Caracterización climática y meteorológica

La relación entre clima y época de incendios es especialmente marcada en aquellas zonas del globo caracterizadas por la existencia de una larga estación seca con temperaturas elevadas, fuertes tasas de evaporación y baja humedad relativa; en ellas es posible definir una “estación de incendios” muy marcada, en la que la vegetación muerta y, también la viva aunque en menor medida, alcanzan unos índices de inflamabilidad muy elevados. Este es el caso de las regiones de clima de tipo Mediterráneo de la Península Ibérica, en las que las condiciones climáticas propician un período con riesgo elevado de incendios forestales que está claramente delimitado entre el principio del mes de junio y mitad del mes de octubre. Frente a ello, en las zonas de la España que tienen un clima de marcada influencia

Para la caracterización del clima de la Sierra de Bascuñana se ha seleccionado una estación meteorológica perteneciente al *Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR)*. Debido al escaso número de estaciones meteorológicas disponibles, se ha seleccionado la estación meteorológica más próxima a la zona de estudio, ya que el 80% de la zona de estudio se encuentra en una diferencia de cota inferior a 200 metros. Consultando las características del resto de estaciones disponibles, éstas se encuentran en cotas similares o inferiores por lo que la estación de Mariana es que puede aportar datos más fidedignos.

En la siguiente tabla (ver Tabla 3) se representan los principales datos de dicha estación meteorológica.

Tabla 3. Datos de la estación meteorológica de Mariana (Cuenca). Fuente. SIAR.

Estación meteorológica de Mariana	
Propiedad	Ministerio
Provincia	Cuenca
Paraje	El Ojillo Malsegar
Cuenca	Júcar
Coordenadas (ETRS 1989 UTM Zona 30N)	
UTM X	573120
UTM Y	4445040
Huso	30
Altitud	939

La estación meteorológica de Mariana (Cuenca), se encuentra a 11 kilómetros al SE de la zona de estudio tal y como se representa en la siguiente figura (ver Figura 3).

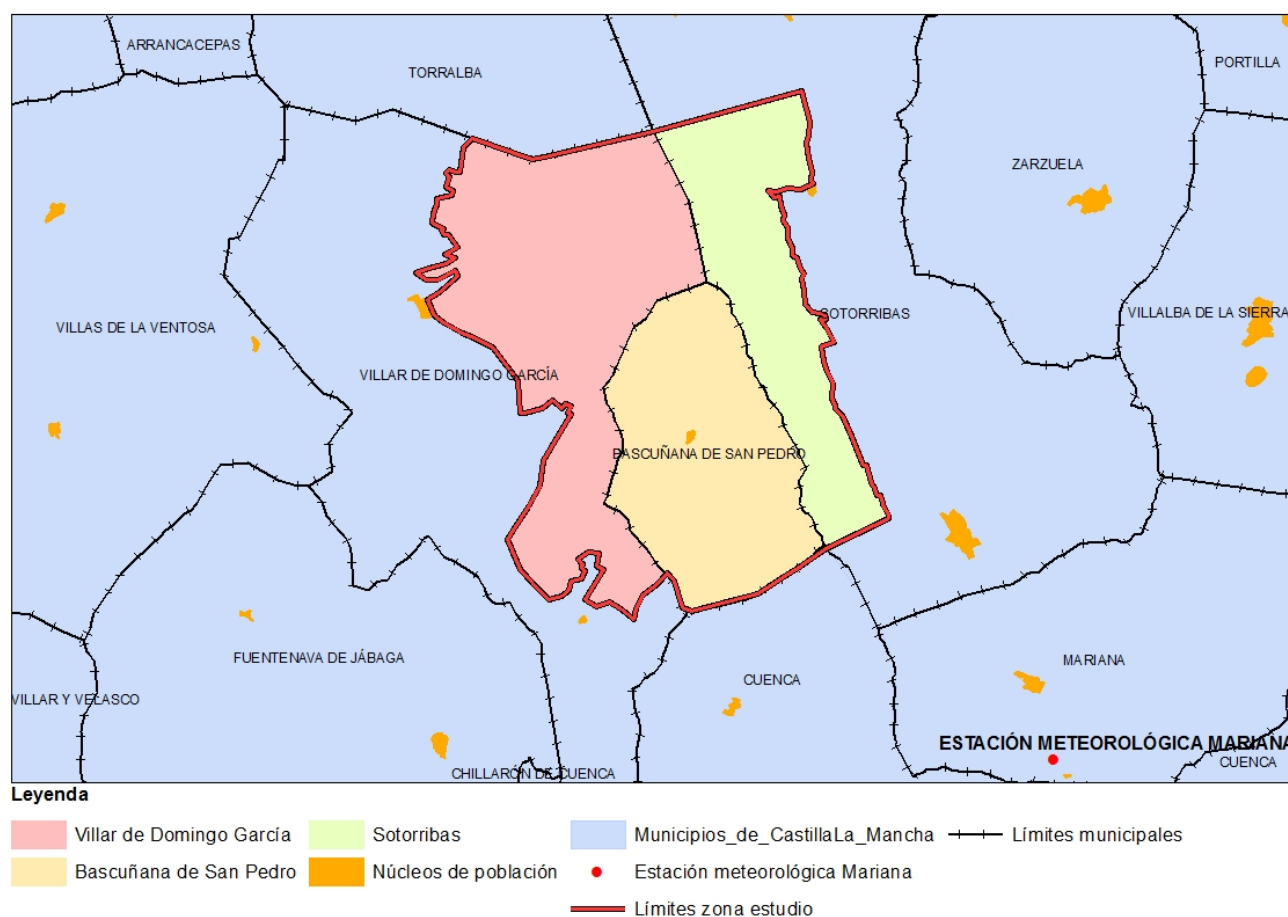


Figura 3. Mapa de localización de la estación meteorológica de Mariana. Fuente. Elaboración propia.

2.2.1.1. Clima

El clima de un territorio viene determinado por su localización (latitud y longitud) en la esfera terrestre, además de por la altitud y cercanía del mar. Atendiendo a estos parámetros el clima de Cuenca podemos calificarlo de mediterráneo continentalizado, caracterizado por inviernos fríos y veranos frescos (*Allué, 1990*), con fuertes oscilaciones térmicas y un régimen de lluvia irregular más abundante en otoño y en primavera.

En invierno es frecuente que las temperaturas bajen de los 0 °C en la mayor parte de la región. La temperatura media del mes de enero se sitúa por debajo de los 6 °C, produciéndose numerosas heladas en las noches despejadas de nubes, también son frecuentes las heladas a principios de primavera y finales de otoño. Los veranos son suaves, por debajo de los 22 °C de media mensual, alcanzándose esporádicamente más de 35 °C.

Las precipitaciones son escasas ya que los valores anuales se encuentran comprendidos entre 300 y 700 litros por metro cuadrado, incluyéndose dentro de la denominada “*España seca*”. Existe una correlación entre la precipitación y la altura, aumentando el valor de las mismas a medida que aumenta la altitud. Debido a que la altitud de la estación meteorológica seleccionada para el estudio del clima se encuentra en valores muy próximos a las cotas más bajas de la zona de estudio, la variación negativa de la precipitación es despreciable y la positiva será significativa en las zonas más altas de la Sierra de Bascuñana, que ocupan aproximadamente un 15% del total de la superficie.

2.2.1.1.1. Régimen térmico y pluviometría

Las precipitaciones junto con la temperaturas y humedad relativa, son probablemente las variables más determinantes para generar condiciones propicias o no para el desarrollo de incendios forestales a largo plazo, ya que la tienen gran influencia en el contenido de humedad de los combustibles (% de agua sobre el peso seco) de forma compleja no lineal. Esta variable es clave en el mecanismo de funcionamiento de los incendios, modulando tanto las probabilidades de ignición como de propagación, fundamentalmente a través de su efecto sobre el estado físico del agua tanto en el aire, el suelo como en la vegetación.

Por lo general, la escasez de lluvias definida en función de su periodicidad y abundancia, condiciona el estado hídrico de los vegetales que, en condiciones de sequedad, son pasto fácil de las llamas debido al estrés hídrico y bajada del contenido de humedad de los mismos, incrementando su inflamabilidad. De hecho, sequías prolongadas pueden producir la muerte total o parcial de los individuos, con el consiguiente aumento de necromasa a los ecosistemas. Este proceso que, afecta más a las plantas de enraizamiento superficial que a las de enraizamiento profundo (*Peñuelas et al., 2001*) afecta de manera diferenciada a las comunidades vegetales, en función de cómo de adaptadas estén a la sequía. Así, en zonas más habituadas a esta circunstancia, la vegetación está más adaptada, no así en zonas con ciertas precipitaciones estivales que hasta ahora no han sido muy afectadas por los incendios, pero que lo pueden empezar a ser. Es decir, que son más vulnerables aquellas localizaciones donde hasta el momento la sequía estival es poco pronunciada y donde se prevean importantes descensos de las precipitaciones veraniegas

Algunos estudios apuntan una relación directa entre la precipitación del año anterior y la superficie quemada en el verano siguiente (*Pausas, 2004*).

Un estudio realizado en la Comunidad Valenciana argumenta que precipitaciones abundantes en un determinado año pueden dar lugar a un crecimiento adecuado de las comunidades vegetales que tras dos años en condiciones de sequía generan una cantidad importante de combustibles promoviendo que se den importantes incendios en dichas localizaciones, por ello, el efecto global de años particularmente húmedos puede no ser positivo (*De Luis et al., 2003*).

La temperatura es una medida del calor de un cuerpo y está determinado por la energía calorífica del mismo, lo cual se manifiesta en un movimiento de sus partículas. Tiene un efecto directo en la cantidad de humedad del combustible ya que existe una relación lineal e inversamente proporcional entre ambos. Así al aumentar la temperatura disminuye la humedad relativa, con lo que el tiempo se vuelve más seco y los combustibles muertos pierden más humedad, por tanto, su disponibilidad para arder es mayor.

La precipitación media anual suma 523 mm anuales con variaciones comprendidas entre los 300 y 700 mm al año. Estas precipitaciones, en general, se distribuyen alcanzando un máximo principal en primavera (abril) y dos máximos secundarios en primavera (marzo) y otoño (octubre-noviembre). Desde el mes de abril las precipitaciones descienden significativamente hasta llegar a julio, donde son prácticamente nulas. No obstante, vuelven a reanudarse a partir de septiembre, donde normalmente se obtienen valores superiores a los 30 mm. Las precipitaciones se distribuyen a lo largo del año como sigue:

- 27% en invierno.
- 34% en primavera.
- 11% en verano.
- 28% en otoño.

La temperatura media en la estación meteorológica de Mariana es de 10,8 °C, alcanzándose los valores más altos en julio (21,4 °C), y el más bajos en enero (2,0 °C). Los valores extremos de temperaturas mínimas se corresponden con el mismo periodo del año, sin embargo, el mayor valor de las temperaturas máximas se refleja en el mes de agosto en vez de julio. En la siguiente tabla (ver *Tabla 4*) se muestran las diferentes variables distribuidas por meses para la serie de los últimos 15 años con datos disponibles.

Tabla 4. Valores de precipitación y temperatura de la estación de Mariana para la serie 2004-2019. Fuente. *SIAR*.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P	43,42	52,10	59,68	74,26	41,12	34,00	10,30	12,73	31,14	55,87	54,46	45,34
T	1,97	2,96	6,07	9,50	13,42	18,29	21,39	20,54	15,74	11,15	5,64	2,33
Tmm	-11,96	-10,54	-8,19	-4,53	-2,29	1,32	3,81	3,41	0,02	-4,08	-8,19	-11,57
TmM	17,56	18,36	22,33	25,25	29,48	34,21	35,71	35,82	31,96	27,04	20,70	17,29
Tm	-17,87	-15,00	-11,74	-7,53	-4,66	-2,40	1,65	-0,01	-3,75	-7,27	-15,27	-14,73
TM	22,25	22,05	26,50	28,75	34,59	37,92	37,72	38,76	36,58	30,33	24,24	20,54

Abreviaturas: P, precipitación media mensual (mm); T, temperatura media mensual (°C); Tmm, temperatura media de las mínimas diarias (°C); TmM, temperatura media de las máximas diarias (°C); Tm, temperatura mínima absoluta mensual (°C); TM, temperatura máxima absoluta mensual (°C).

La combinación de los datos referidos a las temperaturas y las precipitaciones que aparecen en los climodiagramas resulta de gran utilidad ya que sintetizan al mismo tiempo los rasgos climáticos de una determinada zona pudiendo determinar los periodos de sequía (ver *Figura 4*).

El climodiagrama muestra un régimen climático propio del clima mediterráneo continentalizado en el que las precipitaciones presentan un total anual escaso de 523,3 mm con oscilaciones entre 300 y 700 mm) con 3 meses secos de precipitaciones inferiores a 30 mm. La distribución de las precipitaciones a lo largo del año presenta un mínimo principal en verano (*julio*) y un máximo principal en primavera (*abril*) y máximo secundario en otoño (*octubre*). El total y el régimen de precipitaciones son característicos del clima mediterráneo, el cual genera un importante estrés hídrico en la vegetación en los meses de verano, la cual presenta un menor contenido de humedad y se encuentra más disponible para arder.

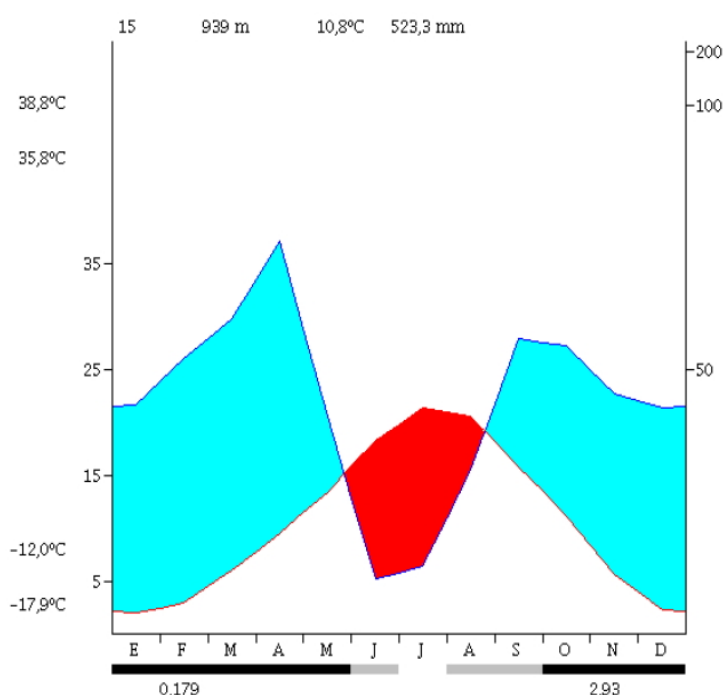


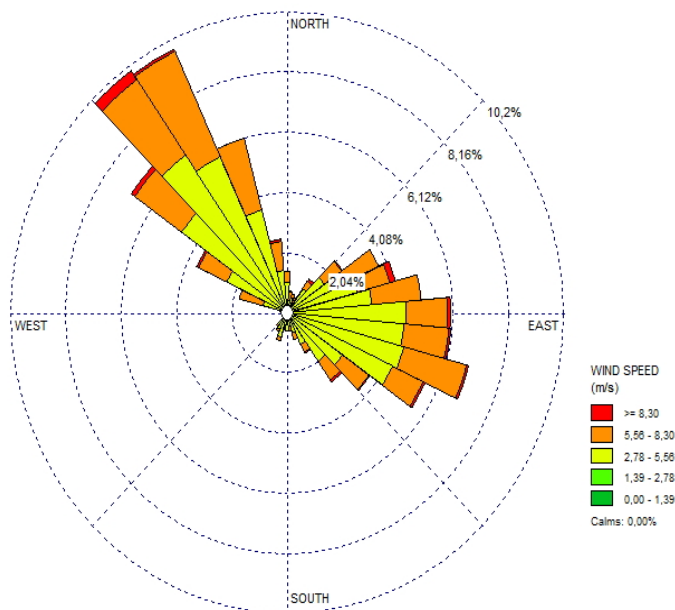
Figura 4. Climodiagrama de *Walter-Lieth*. Fuente: *Procli*.

La temperatura media anual es de 10,8 °C y la amplitud térmica alta, propia de una zona interior. El verano es caluroso (dos meses con temperatura media superior a 22 °C) y el invierno frío con la temperatura media del mes más frío inferior a 2 °C. Estas características térmicas son propias de zonas de interior debido a la gran amplitud. La relación de las temperaturas con las precipitaciones muestra que existe aridez en tres meses, desde junio a septiembre ya que el *Índice de Gaussen* y la curva de las temperaturas se sitúa por encima del perfil de las precipitaciones.

2.2.1.2. Régimen de vientos

A la hora de realizar un estudio sobre incendios forestales se hace imprescindible llevar a cabo un análisis de los vientos de la zona. Uno de los factores que está condicionando el desarrollo de *GIFs* y dificulta en gran medida la extinción de los mismos es el viento, ya que la velocidad de propagación del incendio aumenta a medida que lo hace la velocidad del mismo, aumentando la cantidad de oxígeno disponible para el frente de llamas, tumbando las mismas de forma las acerca a los combustibles no quemados precalentándolos y aumentando su disponibilidad por delante del mismo. Además, influye en la dirección de propagación y el transporte de humos, favoreciendo el transporte de pavesas y la propagación por focos secundarios.

En general, las situaciones de mayor peligro son aquellas que vienen acompañadas de vientos fuertes y secos o con efecto *Foehn*, pues aumentan la desecación de la vegetación y del suelo. El “efecto *Foehn*” se produce



cuando un flujo de viento cruza perpendicularmente con fuerza una cordillera, lo que produce un calentamiento de la masa de aire a sotavento de la cadena montañosa acompañado de una fuerte desecación de la masa de aire por la elevación de temperatura y el efecto de retención de nubosidad y humedad a barlovento de la cordillera. Este efecto origina en el lado de sotavento temperaturas elevadas y valores muy bajos de la humedad del aire, acompañado todo ello de fuertes rachas de viento. Esta situación meteorológica produce que los efectos de las variables meteorológicas viento, temperatura y humedad relativa se suman, creándose con ello unas condiciones especialmente propicias a la eclosión de incendios forestales.

Figura 5. Rosa de vientos para la zona de estudio. Fuente. *WRPLOT*.

Sin embargo, se trata de un parámetro altamente variable en el tiempo y en el espacio cuyo comportamiento es difícil de predecir, incluso a corto plazo y para territorios pequeños. Pese a que ciertos modelos de cambio climático se aventuren a realizar predicciones sobre la evolución del comportamiento medio del viento en futuros escenarios, desde el punto de vista de los incendios forestales resultan insuficientemente detallados.

Debido a la situación geográfica de la Península Ibérica, los vientos dominantes de la zona tienden a ser de componente oeste todo el año. Además, hay que añadir que la Sierra de Bascuñana se encuentra lo suficientemente alejada de la costa por lo que en el estudio de los vientos locales no se consideraran las brisas marinas ni existen vientos locales reseñables.

Dado el contexto en el que se realiza este estudio, el análisis del régimen de vientos en la Sierra de Bascuñana se ha definido exclusivamente para la época de peligro de incendios forestales, fijada entre el 1 de junio y el 15 de octubre. Pese a que en el contexto de cambio climático en el que nos encontramos existe una creciente

ocurrencia de incendios fuera de la época de peligro, sigue siendo en ésta cuando existen mayores probabilidades de que se hagan mayores y más dañinos.

En la rosa de los vientos (ver *Figura 5*) se representa que los vientos dominantes durante la época de peligro en la zona de estudio tienen componente sureste y oeste. En este estudio se han considerado críticos los valores de velocidad del viento que superan los 30 km/h, representados en color rojo, debido a que en la mayoría de GIFs hay registros de vientos iguales o que superan dicho valor de forma sostenida durante periodos superiores a una hora. La componente de estos vientos también coincide con la de los dominantes entre junio y octubre.

2.2.1.3. Humedad

La humedad relativa constituye una de las variables más importante para explicar la variación a escala diaria de la probabilidad de ignición durante el período de máximo riesgo, de modo que los distintos índices cuantitativos que tratan de objetivar en una escala numérica el riesgo de que se produzcan incendios forestales son en general muy sensibles a esta variable, que por otro lado se caracteriza por su acusada variabilidad a lo largo del tiempo y el espacio. Esta variabilidad temporal en el corto plazo de la humedad relativa está relacionada o bien con cambios bruscos de la masa de aire predominante o con el ciclo térmico diurno, ciclo que es de una amplitud especialmente acusada en el interior de la Península Ibérica en la época estival, lo que da origen a que se produzcan mínimos acusados en los valores de la humedad relativa en las horas centrales del día, asociados al fuerte calentamiento diurno, aunque la masa de aire no haya cambiado y se mantenga sensiblemente constante la masa total del vapor de agua atmosférico.

Hay que tener en cuenta que para una masa de aire que permanece durante una zona sin cambiar su contenido total de vapor de agua, a mayor temperatura le corresponde una menor humedad relativa, por lo que a los efectos prácticos de valorar su influencia sobre la probabilidad de ignición los efectos de la temperatura y la humedad relativa se suman.

Tabla 5. Registros de humedad relativa para la zona de estudio. Fuente. *SIAR*.

	Humedad relativa media (%)	Humedad relativa mín (%)
Junio	57,62	12,12
Julio	48,78	10,70
Agosto	53,23	10,03
Septiembre	65,78	13,48
Octubre	74,91	14,34
HR media época peligro (%)	60,06	12,13

2.2.1.4. Condiciones de estabilidad e inestabilidad atmosférica

La estabilidad atmosférica es la medida en que la atmósfera suprime o favorece el movimiento vertical del aire. En atmósferas estables hay resistencia y/o supresión del movimiento vertical del aire, sin embargo, atmósferas inestables favorecen y/o intensifican el movimiento vertical del aire.

Si analizamos cómo afecta cada tipo de atmósfera al desarrollo de los incendios forestales se observa que situaciones de estabilidad van asociadas a condiciones de mala visibilidad por estancamiento de humo por limitación del desarrollo de la columna de convección y vientos en superficie de velocidad y dirección constante.

Las situaciones de inestabilidad favorecen la formación de nubes cumuliformes y de desarrollo vertical, favoreciendo el desarrollo de la columna convectiva, fomentando vientos racheados de dirección y velocidad variables. Estas situaciones favorecen corrientes fuertes de aire de ascenso y descenso en el interior de la columna convectiva, favoreciendo la entrada de aire fresco y oxígeno al incendio que generará una mayor intensidad del mismo.

2.2.1.5. Condiciones meteorológicas de la época de peligro

En la siguiente tabla (ver *Tabla 6*) se representan las principales variables meteorológicas relacionadas con el comportamiento del fuego en valores promedio distribuidos en los diferentes meses de la época de peligro.

Tabla 6. Condiciones meteorológicas medias de la época de peligro. Fuente. Elaboración propia.

Mes	Tª máx (°C)	HR mín (%)	Vel. Viento máx (km/h)	Componente viento
Junio	27,64	25,74	19,46	SE
Julio	31,59	18,60	19,87	SE
Agosto	31,00	20,96	19,27	SE
Septiembre	25,98	29,80	17,32	SE
Octubre	22,52	34,90	16,90	SE
MEDIA	27,75	26,00	18,56	SE

Para realizar las simulaciones de comportamiento del fuego que serán la base del posterior análisis del territorio se utilizará el peor escenario posible obtenido con el *percentil 95* de las diferentes variables representadas en la siguiente tabla (ver *Tabla 7*). Así mismo, se contemplan dos escenarios de direcciones de viento diferentes con una variación prevista de la componente según la variación observada en el análisis de los datos y un coeficiente de seguridad en la intensidad del mismo del valor del *percentil 95* de la velocidad máxima del viento. En el análisis de estos datos, se ha seleccionado el percentil 95 para obtener valores lo suficientemente altos como para que sean representativos de las peores condiciones sin llegar a ser los valores más altos, que se pueden generar en situaciones muy puntuales. En esta tabla se pretende definir los escenarios meteorológicos en los que una ignición tiene mayores posibilidades de generar un *GIF* en la Sierra de Bascuñana.

Tabla 7. Valores extremos meteorológicos para la realización de simulaciones. Fuente. Elaboración propia.

Variable	Valor	Intervalo
Temperatura (°C)	35,06	
Humedad relativa (%)	11,39	
Velocidad viento (km/h)	4,97	± 21
Dirección viento (°)	136/272	± 20

2.2.2. Topografía

Los incendios forestales se producen en zonas que generalmente tienen una orografía complicada que no sólo afecta al comportamiento del incendio por sí misma, sino que además condiciona otros factores como el combustible y su disponibilidad, así como afecta a las condiciones meteorológicas a escala local. Las principales variables que consideramos a la hora de modelizar el comportamiento del fuego son las pendientes y orientaciones. Sin embargo, existen otros factores a tener en cuenta como son la orientación de las cordilleras y valles en relación con los vientos dominantes, y por tanto la interacción de viento y topografía en el comportamiento del fuego esperado. Aquí es donde aparece el concepto de *piromorfología*, que podría definirse como el efecto que las formas del terreno ejercen sobre el comportamiento del fuego (*Castellnou et al., 2009*).

La *piromorfología* de la zona de estudio destaca por un valle principal que cruza de sur a norte toda la zona, dejando al este una zona de relieve muy escarpado con orientaciones de ladera oeste/este y numerosos barrancos. Al oeste del valle, el relieve presenta elevadas pendientes en las laderas con orientación este, disminuyendo la misma en las orientaciones oeste, donde en ocasiones el relieve pierde tan marcada orientación, presentando variaciones de la misma.

Estas características condicionarán el desarrollo de los incendios forestales en la zona, ya que cuando un régimen de vientos se encañona en un valle o barranco en el cual disminuye su sección, este incrementa su velocidad, aumentando la velocidad de propagación del incendio en ese lugar. Por ello, a la hora de realizar las

simulaciones de incendio se utilizará el generador de vientos de alta resolución WindNinja integrado en Wildfire Analyst.

2.2.2.1. Pendiente

La pendiente del terreno es un factor importante para determinar la velocidad de propagación del fuego, ya que influye sobre éste de manera directamente proporcional.

Con el cambio climático, la vegetación que cubre las pendientes más fuertes puede ir variando con el devenir de los años, siendo más sensibles ante el efecto de los incendios sólo por el hecho de ocupar dichas localizaciones ya que deberán soportar situaciones de mayor estrés, lo cual se traduce en una mayor disponibilidad de los combustibles.

En la siguiente figura (ver *Figura 6*) se representa la distribución de pendientes en la zona de estudio, donde se intercalan terrenos llanos con zonas muy escarpadas.

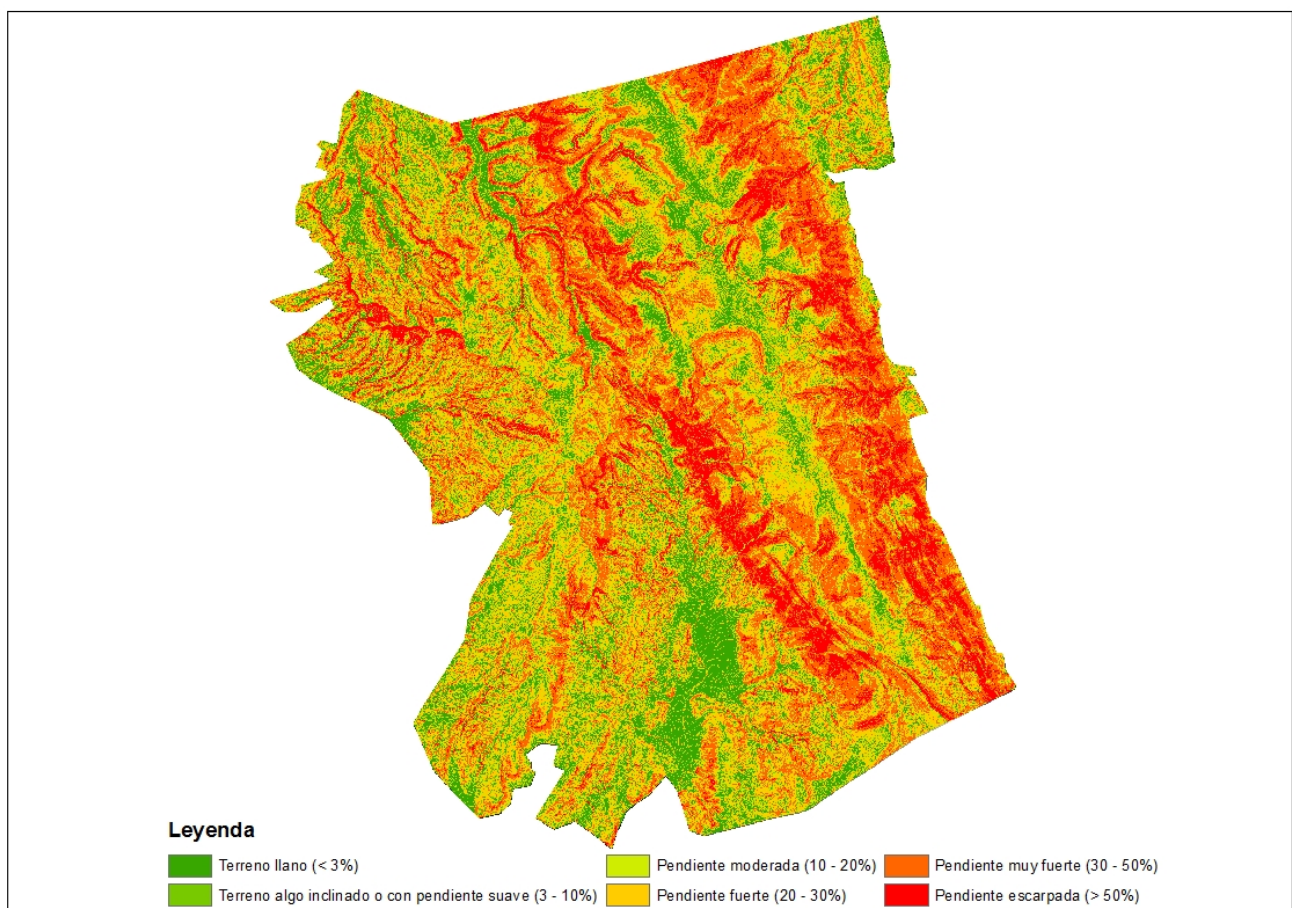


Figura 6. Mapa de pendientes de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

2.2.2.2. Orientación

La orientación del terreno es relevante ya que la vegetación, y por tanto, los combustibles, estarán más expuestos a temperaturas más elevadas y distendidas en el tiempo que los ubicados en orientaciones de umbría, siendo por tanto, más sensibles al fuego.

Las exposiciones de solana (S y W) tienen una insolación mayor, con lo que los combustibles tienen una menor humedad que los de umbría (N y E).

En la *Figura 7* se representan las diferentes orientaciones de las laderas presentes en la zona de estudio.

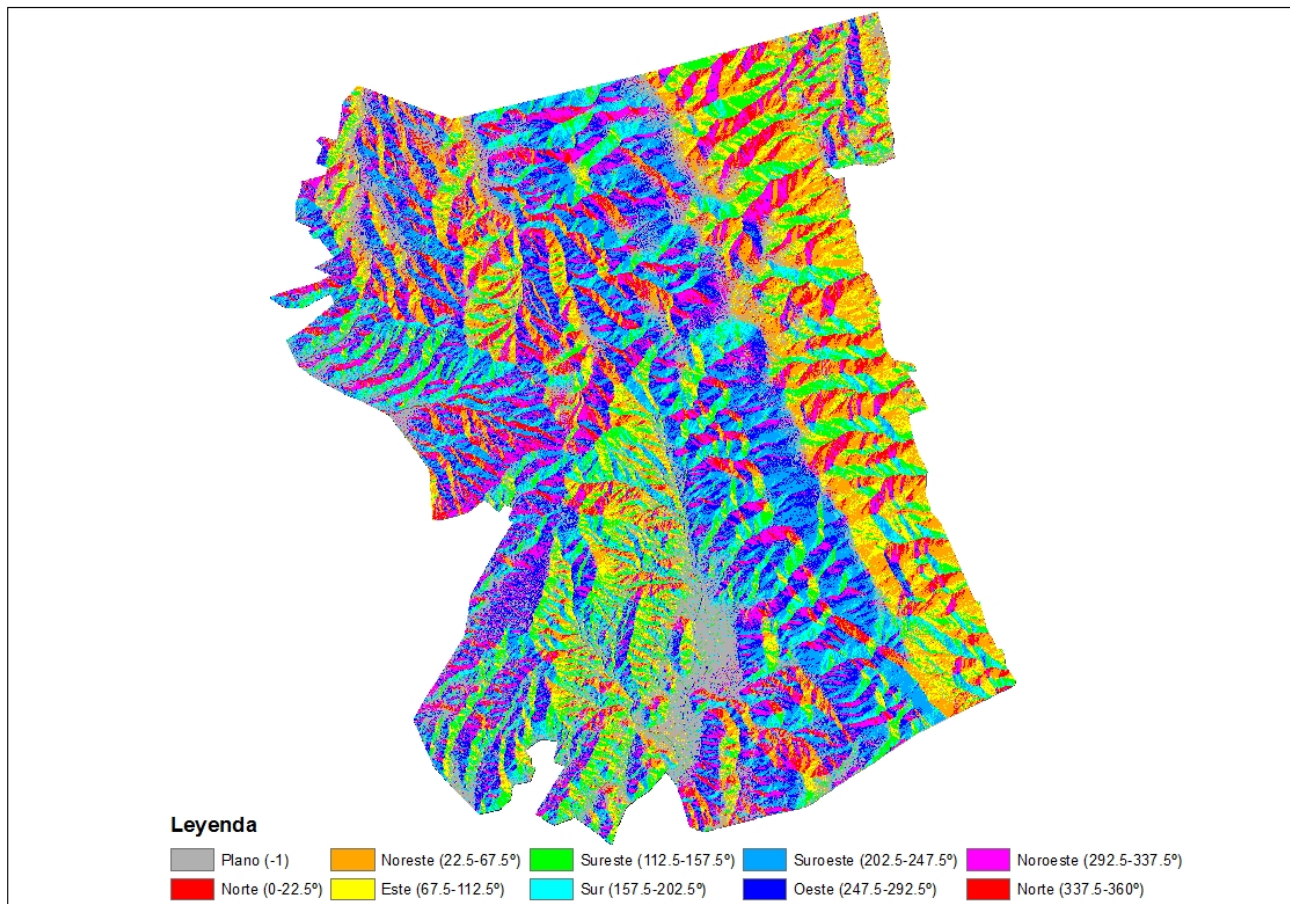


Figura 7. Mapa de orientaciones de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

2.3. Vegetación

En la Sierra de Bascuñana, a pesar de la considerable biodiversidad de la provincia predominan claramente las masas de coníferas, siendo los pinares de *Pinus nigra* los más abundantes. En cuanto a frondosas se refiere, destacan por su extensión las formaciones de *Quercus ilex* y las masas de *Quercus faginea*.

Desde el punto de vista geobotánico, y siguiendo la clasificación de Rivas-Martínez, la zona de estudio pertenece a la provincia *Mediterranea Iberica Central*, subprovincia *Castellana*, sector *Celtibérico-Alcarreño*.

La vegetación potencial pertenece a los grupos *Junipero thuriferae-Quercetum rotundifoliae* y *Juniperetum phoeniceothuriferae*. Las series zonales dependientes de piso bioclimático y ombroclima definidas para los dominios biogeográficos de la Sierra de Bascuñana son los siguientes:

- Encinares y matorrales de degradación del encinar, variados según su serie original, formando romerales, tomillares, jarales, cantuesares, retamares, etc., indicando el área potencial de distribución de los encinares.
- Quejigares que sustituyen ecológicamente a los encinares sobre suelos profundos y húmicos entre 800 y 1.200 m., y alternan con encinares, alcornocales, sabinas y pinares de laricio. Aparecen acompañados de arces (*Acer monspessulanum*, *Acer opalus*) y serbales (*Sorbus aria*, *Sorbus domestica*, *Sorbus torminalis*) y rosáceas arbustivas (rosas, guillomos, majuelos, etc.).
- Sabinas. La sabina albar (*Juniperus thurifera*) forma el genuino bosque de las parameras de Cuenca y ocupa las altas mesetas llanas (1.000 - 1.400 m.) y las laderas expuestas donde las condiciones climáticas son más rigurosas y el suelo posee una menor capacidad de retención.
- Pinares. Ocupan actualmente una gran extensión. La especie más abundante es el pino laricio o salgareño (*Pinus nigra*) que predomina frente al pino resinero o rodeno (*Pinus pinaster*).

2.3.1. Modelos de combustible

La relación entre el hombre y la naturaleza en el pasado, son la causa principal del paisaje que tenemos hoy en día. Además del factor antrópico, el paisaje de Cuenca ha sido modelado durante años por incendios de causas naturales.

A la hora de valorar la posibilidad de que ocurra un incendio forestal y la magnitud del mismo hay que tener en cuenta, además de los aspectos meteorológicos y topográficos, los referentes a las formaciones vegetales presentes en el territorio, pudiendo ser más o menos susceptibles de arder y propagarse bajo ciertas condiciones del entorno.

En el lenguaje referente a los incendios forestales, las formaciones vegetales son tratadas como combustibles, que son uno de los elementos clave para explicar el comportamiento del fuego, ya que suministran la energía necesaria para la propagación del fuego (Byram, 1959; Chandler et al., 1983). Se definen en función de la carga de biomasa, la composición en diferentes tamaños o el contenido de humedad promedio (Rothermel, 1972; Rothermel, 1983).

Se define “combustible forestal” a toda aquella materia vegetal que se encuentra en disposición a arder. Las características físicas y químicas de la vegetación determinan la mayor o menor facilidad para que se inicie el fuego (inflamabilidad) y la mayor o menor virulencia en la propagación de las llamas (combustibilidad). Las principales características a tener en cuenta para la caracterización de la combustibilidad asociada a los ecosistemas mediterráneos son (Anderson, 1970):

- Carga de combustible vivo y muerto.
- Estructura horizontal y vertical.
- Inflamabilidad.
- Combustibilidad.

Los combustibles son clasificados en grandes grupos a los que se presupone un comportamiento frente al fuego conocido llamados modelos de combustible. Estos modelos permiten predecir el comportamiento del fuego definiendo, entre otros parámetros, la velocidad de propagación y la longitud de llama.

Los modelos de combustible se clasifican en grandes grupos (pastos, matorrales, matorrales debajo de arbolado, restos, etc.), y se subdividen en clases con características concretas.

Para la modelización del comportamiento del fuego es fundamental disponer de modelos de combustible actualizados y elaborados con precisión. En el caso de la zona objeto de estudio, los modelos de combustible han sido elaborados en el año 2017 mediante el uso de datos LiDAR apoyados por trabajos de validación en campo.

2.3.1.1. Combustibles de superficie

Los modelos de combustible, tal y como los conocemos, representan fuegos de superficie. El trabajo de elaboración dichos modelos para Castilla-La Mancha ha utilizado la nueva clasificación americana de modelos de combustible (Scott y Burgan, 2005), que crea 45 modelos diferentes, de los cuales 18 son los que se encuentran presentes en la zona objeto de estudio. La información relativa a los modelos de se ha obtenido a través de la plataforma “Gestión de Información Ambiental” (GINFOR) perteneciente a la Junta de Castilla-La Mancha disponibles para la descarga de los usuarios de forma gratuita.

Esta nueva clasificación mejora la exactitud de las predicciones de comportamiento del fuego ya que aumenta el número de modelos a aplicar, y mejoran la capacidad de entender el comportamiento del incendio fuera del período severo de la temporada de incendios al ofrecer más opciones de modelos de combustible, por lo que se están utilizando actualmente por todo el mundo, incluidas zonas mediterráneas de España como Andalucía (Rodríguez-Silva y Molina, 2010) y Valencia (Quílez y Chinchilla, 2013).

En la zona de estudio tienen representación 18 modelos de combustible que se detallan a continuación (Scott y Burgan, 2005; Ramírez et al., 2011):

- **Modelos incombustibles (*Nonburneable* – *NB*).** En este tipo de modelos no existe una carga de combustible, los incendios forestales no presentan propagación.

NB1 (91). Zonas urbanas consolidadas. Descripción: Corresponden a superficies de tierra cubiertas por terrenos urbanos o suburbanos desarrollados. Para ser considerado *NB1*, el área bajo consideración no debe favorecer la propagación de un incendio forestal. En algunos casos, las zonas asignadas como *NB1* pueden experimentar pérdidas estructurales durante un incendio forestal; sin embargo, la estructura de ignición en algunos casos es otra, por lo que estos tipos de combustibles no están modelados a través de modelos de comportamiento del fuego, por lo que si existe algún tipo de vegetación suficientemente combustible alrededor de la estructura, de tal manera que la propagación de un incendio forestal sea posible, deberá elegir un modelo de combustible apropiado para dicha vegetación silvestre en lugar de un modelo *NB1*. Comportamiento del fuego: No existe una propagación del fuego.

NB3 (93). Zonas agrícolas. Descripción: Corresponde a superficies cubiertas por nieve o hielo permanente. En el caso de zonas con nieve estacional se asigna el modelo *NB2* durante el periodo de nieve y se le asignará el que corresponda durante la temporada de incendios forestales. Comportamiento del fuego esperado: No existe una propagación del fuego.

NB9 (99). Zonas de suelos desnudos. Descripción: Comprende zonas sin combustible suficiente para propagar un incendio forestal, estas aéreas pueden incluir desiertos áridos con poca vegetación, dunas de arena, afloramientos rocosos, playas, etc. Comportamiento esperado del fuego: No existe una propagación del fuego.

- **Modelos de combustible de tipo pastizal (*Grass* – *GR*).** El principal portador del fuego en los modelos de combustible tipo *GR* es el Pastizal. Los pastos combustibles pueden ser rastrojos de pasto natural o pastos densos de más de 2 metros de altura. El comportamiento del fuego varía desde una moderada velocidad de propagación y una baja longitud de llama en los pastos poco densos, a un comportamiento extremo de velocidad de propagación y longitud de llama en pastos altos. Todos los modelos de pasto son dinámicos, lo que significa que sus cambios de carga de combustible herbáceo vivo a muerto está en función del contenido de humedad del combustible herbáceo vivo.

GR1 (101). Pastizales secos, bajos y poco densos. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo *GR1* son los pastizales poco densos, aunque pueden estar presentes pequeñas cantidades de combustible fino muerto. El pastizal es generalmente corto, ya sea, en forma natural o por el pastoreo, pudiendo ser escaso o discontinuo. Comportamiento del fuego: Posee una baja velocidad de propagación y longitud de llama comparado con otros modelos de combustibles *GR*.

GR2 (102). Pastizales secos de baja carga. Descripción: El principal portador del fuego en el modelo *GR2* es el pastizal seco, aunque puede existir pequeñas cantidades de combustible fino muerto. La carga de combustible por superficie es mayor que en el modelo *GR1*. Comportamiento del fuego: Pueden estar presentes algunos matorrales, pero no afecta el comportamiento del fuego.

- **Modelos de combustible tipo pastizal-matorral (*Grass-Shrub* – *GS*).** El principal propagador del fuego en los modelos de combustible tipo *GS* es la combinación de pastizal con matorral, ambos componentes son importantes en la determinación del comportamiento del fuego. Todos los modelos de combustible tipo *GS* son dinámicos, lo que significa que sus cambios de carga de combustible herbáceo vivo a muerto está en función del contenido de humedad del combustible herbáceo vivo. El efecto del contenido de humedad del combustible herbáceo vivo en la velocidad de propagación e intensidad es fuerte y depende de la cantidad relativa de carga de pastizal y matorral en el modelo de combustible.

GS1 (121). Pastizal-matorral seco de baja carga. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo GS1 es la combinación de pastizal con matorral. El matorral tiene una altura de 30 cm., el pastizal tiene una carga de combustible por superficie baja. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es moderada, longitud de llama y humedad de extinción bajas.

GS2 (122). Pastizal-matorral seco de carga moderada. Descripción: El principal propagador del fuego en este modelo la combinación de pastizal con matorral. El matorral tiene una altura entre 30 cm. y 1 metro aproximadamente, la carga de combustible del pastizal es moderada. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación del fuego es alta. La longitud de llama es moderada y la humedad de extinción baja.

- **Modelos de combustible tipo matorral (*Shrub - SH*).** El principal propagador del fuego en los combustibles SH son las ramas y hojas vivas o muertas en combinación con los restos de matorral muerto en la hojarasca. Una pequeña cantidad de combustible herbáceo puede estar presente, especialmente en los modelos SH1 y SH9 que son modelos dinámicos. El efecto del contenido de humedad del combustible herbáceo vivo en la velocidad de propagación y longitud de llama puede ser fuerte en los modelos dinámicos SH.

SH1 (141). Matorral de clima seco de baja carga. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH1 es el matorral leñoso y restos de matorral presentes en la hojarasca. La carga de combustible por superficie del matorral es baja, la capa de hojarasca tiene una profundidad cercana a 30 cm., algunos pastos pueden estar presentes. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es muy baja al igual que la longitud de la llama.

SH2 (142). Matorral de clima seco de carga moderada. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH2 es el matorral leñoso y los restos de matorral presentes en la hojarasca. La carga de combustible por superficie es moderada (mayor que en SH1), la profundidad es de más o menos de 30 cm. No hay presentes combustibles de tipo pastizal. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es baja, al igual que la longitud de llama.

SH5 (145). Matorral de clima seco de alta carga. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH5 es el matorral leñoso y los restos de matorral presentes en la hojarasca. La carga de combustible del matorral por superficie es alta, de profundidad de unos 1,2 a 1.8 metros. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es muy alta; longitud de llama muy alta.

SH7 (147). Matorral de clima seco de carga muy alta. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH7 es el matorral leñoso y los restos de matorral presentes en la hojarasca. Carga de combustible por superficie muy alta, profundidad de 1,2 a 1,8 metros. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación del fuego alta; longitud de llama muy alta.

- **Modelos de combustible de madera-sotobosque (*Timber-Understory - TU*).** El principal propagador del fuego en los modelos de combustible tipo TU es la hojarasca del bosque en combinación con combustible herbáceo o matorral. TU1 y TU3 contienen carga de combustible herbáceo vivo y son dinámicos. El efecto del contenido de humedad herbáceo vivo la velocidad de propagación e intensidad es fuerte y depende de la cantidad relativa de combustible pastizal o matorral presente en el modelo de combustible.

TU1 (161). Arbolado-pastizal-matorral de clima seco de baja carga (Dinámico). Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TU1 es una baja carga de pastizal y/o matorral con hojarasca. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación y longitud de llama bajas.

TU2 (162). Arbolado-matorral de clima húmedo de carga moderada. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TU2 es carga moderada de hojarasca con matorral. Humedad de extinción alta. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación moderada y longitud de llama baja.

TU5 (165) Arbolado-matorral de clima seco de carga muy alta. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TU5 es una pesada carga de combustible de hojarasca de bosque con matorral o sotobosque de árboles pequeños. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación y longitud de llama moderadas.

- **Modelos de combustible de hojarasca de bosque (*Timber litter* – TL).** El principal propagador del fuego en los modelos de combustible TL es el Combustible leñoso muerto bajo. El combustible vivo está presente, tiene un pequeño efecto sobre el comportamiento del fuego.

TL2 (182). Hojarasca de frondosas de baja carga. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TL2 es la hojarasca de frondosas (Maderas duras). Carga de combustible por superficie baja, compacta hojarasca de frondosas. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación y longitud de llama muy bajas.

TL3 (183). Hojarasca de coníferas de carga moderada. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TL3 es una carga moderada de hojarasca de coníferas, carga suave de combustibles gruesos. Velocidad de propagación muy baja; longitud de llama baja.

En la siguiente figura (ver Figura 8) se representa la distribución de los modelos de combustible en la zona de estudio.

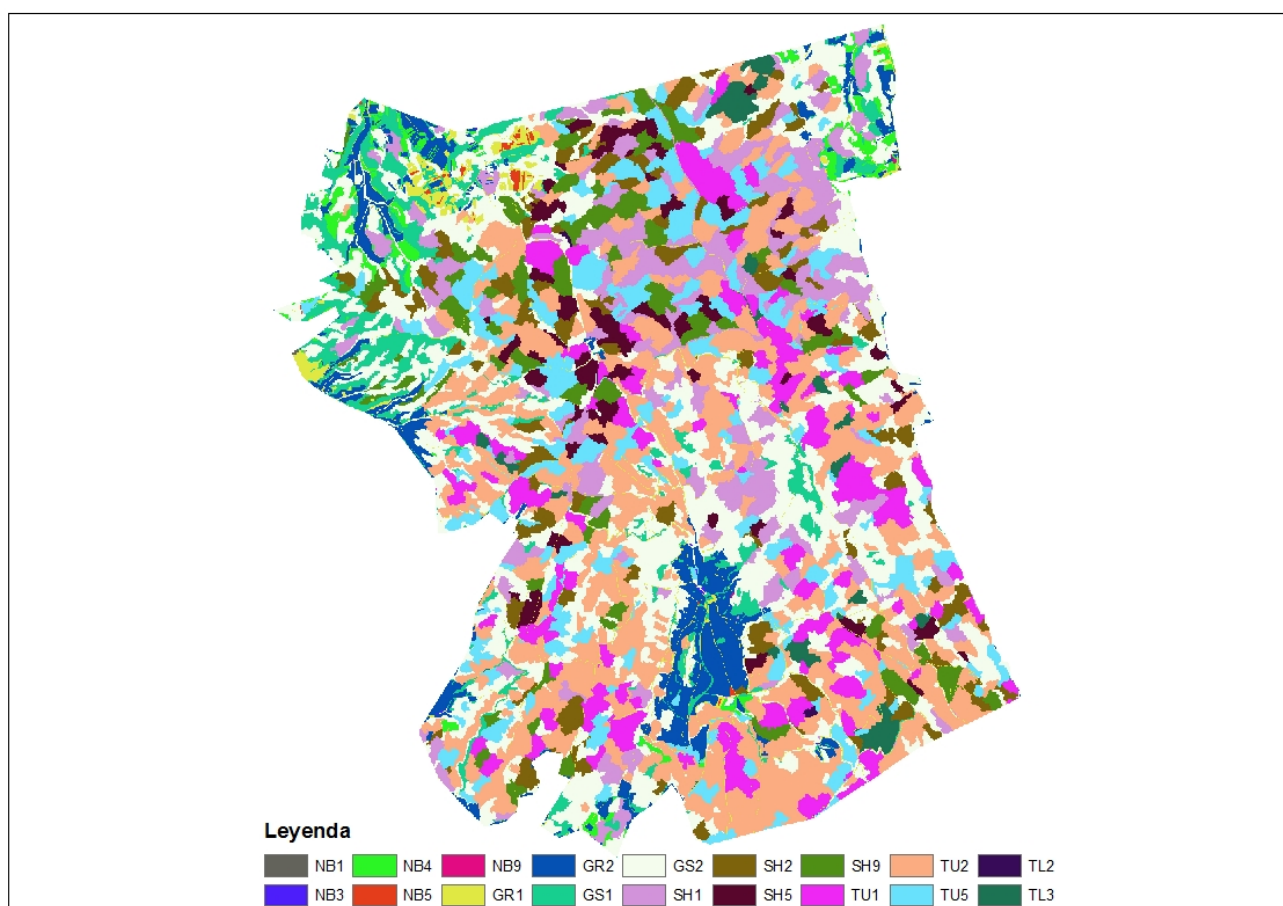


Figura 8. Mapa de modelos de combustible de la zona de estudio. Fuente. GINFOR.

Analizando la capa de modelos de combustible se observa que los modelos que predominan en la zona son los modelos TU2 y GS2 que representan 22% de la superficie total cada uno.

Tabla 8. Superficie ocupada por cada modelo de combustible. Fuente. *GINFOR*.

Modelos de combustible	Superficie (ha)	Porcentaje de ocupación (%)
NB1	0,59	0,01
NB3	1,56	0,02
NB4	101,53	1,56
NB5	10,01	0,15
NB9	0,68	0,01
GR1	133,52	2,05
GR2	339,05	5,20
GS1	356,93	5,48
GS2	1439,35	22,09
SH1	644,14	9,88
SH2	334,09	5,13
SH5	193,52	2,97
SH7	306,47	4,70
TU1	508,65	7,81
TU2	1462,14	22,44
TU5	589,73	9,05
TL2	3,00	0,05
TL3	91,73	1,41

2.3.1.2. Combustibles de copas

Para la modelización de los fuegos de copas se necesitan conocer las diferentes variables del arbolado, así como su estructura, ya que ésta se encuentra directamente relacionada con el comportamiento del fuego y la posibilidad de transición del fuego de superficie a las copas de los árboles. Con una topografía adecuada y bajo unas condiciones ambientales favorables, el fuego podría subir de la superficie al estrato arbóreo y propagarse a través de él, dando lugar a fuegos de copas. Estos incendios se caracterizan por un mayor impacto económico, peligrosidad para la población, dificultad de extinción y por presentar un mayor impacto ecológico (*Graham et al., 2004*).

Las principales variables necesarias para la modelización del comportamiento del fuego de copas son la fracción de cabida cubierta, altura del arbolado y de la base de las copas del mismo y la densidad aparente de copas.

La especie dominante del estrato arbóreo es el *Pinus nigra* aunque en ocasiones puntuales se encuentran pies de *Pinus pinaster*. Es por ello que las variables de los modelos de copas se calcularán en función de las características de las masas de *Pinus nigra*, que serán las que definan el comportamiento del fuego de copas en la mayor parte de la superficie.

2.3.1.2.1. Fracción de cabida cubierta

La fracción de cabida cubierta, en adelante FCC, se define como la superficie de la proyección de las copas del arbolado sobre el suelo y se expresa en porcentaje. Es un indicador importante para conocer la continuidad horizontal del combustible de copas e influye en las variables meteorológicas a nivel del sotobosque a causa

del sombreado, creando unas condiciones microclimáticas que modifican la temperatura, humedad y velocidad del viento en esta franja de combustible superficial.

Esta variable se ha obtenido tras el tratamiento de datos *LiDAR* obtenidos a través de la plataforma *GINFOR* perteneciente a la Junta de Castilla-La Mancha disponibles para la descarga de los usuarios de forma gratuita.

En la siguiente figura (ver *Figura 9*) se representa la distribución de la *FCC* en la zona de estudio.



Figura 9. Distribución de la fracción de cabida cubierta (*FCC*) en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

2.3.1.2.2. Altura del arbolado

La altura del estrato arbolado, en adelante *CH*, no es una variable dasométrica imprescindible para la modelización de incendios forestales de superficie, pero su conocimiento permite ajustar en mayor grado el comportamiento del fuego de copas.

En este estudio, el dato de altura del arbolado se ha utilizado para calcular la altura media de la masa, cuyo valor será utilizado para el cálculo de la densidad aparente de copas. Los valores medios de altura del arbolado en la Sierra de Bascuñana se corresponden con 9,33 metros de altura.

Los datos de altura del arbolado se han obtenido de datos *LiDAR* disponibles en la plataforma *GINFOR* perteneciente a la Junta de Castilla-La Mancha para la descarga de los usuarios de forma gratuita.

2.3.1.2.3. Altura de la base de las copas del arbolado

La altura de la base de la copa, en adelante *CBH*, se puede definir como la altura desde el suelo a la primera inserción de rama del estrato arbóreo. Es la altura que indica la distancia entre la parte baja de la copa y el suelo. Esta variable es un indicador de la continuidad vertical de los combustibles y de la facilidad que un fuego

de superficie tiene para subir a las copas del arbolado, por tanto, es un parámetro necesario tanto para el cálculo de la transición a fuego de copas.

Dichos valores se han obtenido mediante la realización de un inventario en la zona de estudio, determinando que la altura media de la base de las copas tiene un valor de 4,80 metros.

2.3.1.2.4. Densidad aparente de copas

La densidad aparente de copas, en adelante *CBD*, se define generalmente como la cantidad de combustible presente por unidad de volumen del dosel arbóreo expresada en kg/m^3 presente en las copas del arbolado.

Los valores de *CBD* se han obtenido del estudio realizado por Domènech (Domènech et al., 2017) debido a las similitudes de las estructuras ambas masas de *Pinus nigra*, fijando el valor de *CBD* para las simulaciones del fuego de copas en la Sierra de Bascuñana en $0,30 \text{ kg}/\text{m}^3$.

2.3.1.3. Humedad del combustible

La humedad del combustible se puede definir como “el contenido de agua que tiene la vegetación, independientemente de que esté viva o muerta”.

Este factor se encuentra directamente relacionado con la climatología tanto de meses como de años previos a los incendios, ya que afectan altera el contenido en agua de los combustibles y su carga. El contenido de humedad del combustible es una de las variables que condiciona en mayor medida el desarrollo de los incendios.

En este contexto, hay que diferenciar los conceptos de humedad del combustible vivo y la humedad del combustible muerto, que serán descritos en los siguientes subapartados.

2.3.1.3.1. Humedad del combustible muerto

La humedad del combustible muerto se encuentra directamente relacionada con factores meteorológicos como son la temperatura, la humedad relativa el viento y la precipitación. Indirectamente, esta variable también se encuentra influenciada por la hora del día, la cobertura de nubes, el sombreado que reciban los combustibles o la orientación del lugar en el que se encuentren.

El combustible muerto se clasifica en función del tiempo de retardo, que se puede definir como el tiempo que necesita la vegetación para absorber o perder la humedad y equilibrarla con el contenido de humedad de la atmósfera. El tiempo de retardo varía en función del diámetro de la vegetación y se clasifica en función de las horas que necesita el combustible para alcanzar el equilibrio con el contenido de humedad de la atmósfera.

Tabla 9. Relación entre tiempo de retardo y diámetro del combustible. Fuente. *Rothermel, 1983*.

Tiempo de retardo (h)	Diámetro del combustible (cm)
1 hora	$\leq 0,5 \text{ cm}$
10 horas	0,5 - 2,5 cm
100 horas	2,5 - 7,5 cm
1000 horas	7,5 - 20,5 cm

El valor más utilizado corresponde al combustible muerto con tiempo de retardo de 1 horas, también llamado combustible fino muerto, ya que se utiliza para el cálculo de la probabilidad de ignición. Dicho cálculo se realiza utilizando las tablas que elaboró Rothermel (Rothermel, 1983). La humedad del resto de combustibles muertos se encuentra relacionada con la facilidad o dificultad de propagación del incendio una vez comenzado el mismo.

4.1.1.3.2.2. Humedad del combustible vivo

La humedad del combustible vivo depende de la época del año y de su estado vegetativo (*Rothermel, 1983*). Elabora una tabla relacionando los estados vegetativos con la humedad del combustible. Sin embargo, los estudios realizados en España por *Castro y Soriano (Castro et al., 2007; Soriano y Quílez, 2017)* muestran que la realidad de la vegetación mediterránea es muy diferente a los valores propuestos por *Rothermel*.

Estos estudios muestran que hay un movimiento de agua característico de cada especie lo que dificulta en gran medida dar un dato único de humedad de la vegetación para un lugar dado. Algunas especies mediterráneas pueden llegar a valores de humedad entorno al 50% en condiciones de climatología desfavorable, cuanto más largo sea el período seco más puede descender la humedad del combustible forestal.

En el desarrollo de los incendios forestales tiene gran influencia el combustible forestal. La mayor o menor influencia en la propagación de los mismos depende en gran parte de la disponibilidad de los mismos, sobre todo los combustibles vivos. El combustible muerto tiene gran influencia en la probabilidad de inicio de los incendios forestales, pero es el vivo el que condicionará en gran parte el comportamiento de los mismos. Por ello, resulta imprescindible conocer cómo evoluciona el contenido de humedad del combustible vivo de las principales especies presentes en cada entorno forestal y cómo están adaptadas a su singularidad climática.

Debido a la interrelación entre todos los estratos de un modelo de combustible y su contenido en humedad se establece el concepto de ventana fenológica. La ventana fenológica se define como el contenido de humedad de la vegetación viva que presenta un modelo de combustible agrupado en una estructura única, como combinación del contenido de humedad de todos sus estratos.

La fenología de las especies mediterráneas viene marcada por la existencia de dos estaciones de elevado estrés climático, el invierno y el verano, que dividen el periodo adecuado para el crecimiento vegetal (*Mitrakos, 1980*). Además, la característica variabilidad interanual de este clima limita la regularidad y duración de los periodos favorables (*Mooney y Dunn, 1970*).

A las propias características del clima mediterráneo se une el contexto de cambio climático, dando lugar a periodos de altas temperaturas más largos de lo normal y un régimen de precipitaciones menor, que generan una ampliación del periodo de estrés para la vegetación, propiciando menores oportunidades de crecimientos a las masas forestales y generando masas más envejecidas y con menor contenido de humedad, en las que las especies leñosas dominan sobre las especies herbáceas fruto del abandono de las actividades agroforestales. Todos estos factores suponen una ampliación del periodo de condiciones óptimas para el desarrollo de incendios forestales, que serán de más frecuentes y de mayor intensidad.

3. INCENDIOS EN LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Estadística de incendios en la provincia de Cuenca

De acuerdo con la *Estadística General de Incendios Forestales (EGIF)* de la provincia de Cuenca, en las últimas dos décadas de las cuales se tienen datos oficiales (1995-2015) se produjeron en todo el territorio provincial una media de 170 incendios anuales que quemaron un promedio 775 ha/año. Esto hace que la provincia sea de las menores de España en cuanto a número de incendios, pero si atendemos a la superficie forestal afectada, la gran cantidad de superficie forestal de la provincia (*casi el 50% del territorio*) y, sobre todo, la continuidad de la misma, hacen que estos pocos incendios afecten significativamente a la vegetación, especialmente en años de acusada sequía estival donde la superficie forestal se dispara hasta los varios miles de hectáreas. En el siguiente gráfico se muestra la distribución anual del número de incendios y de la superficie forestal quemada.

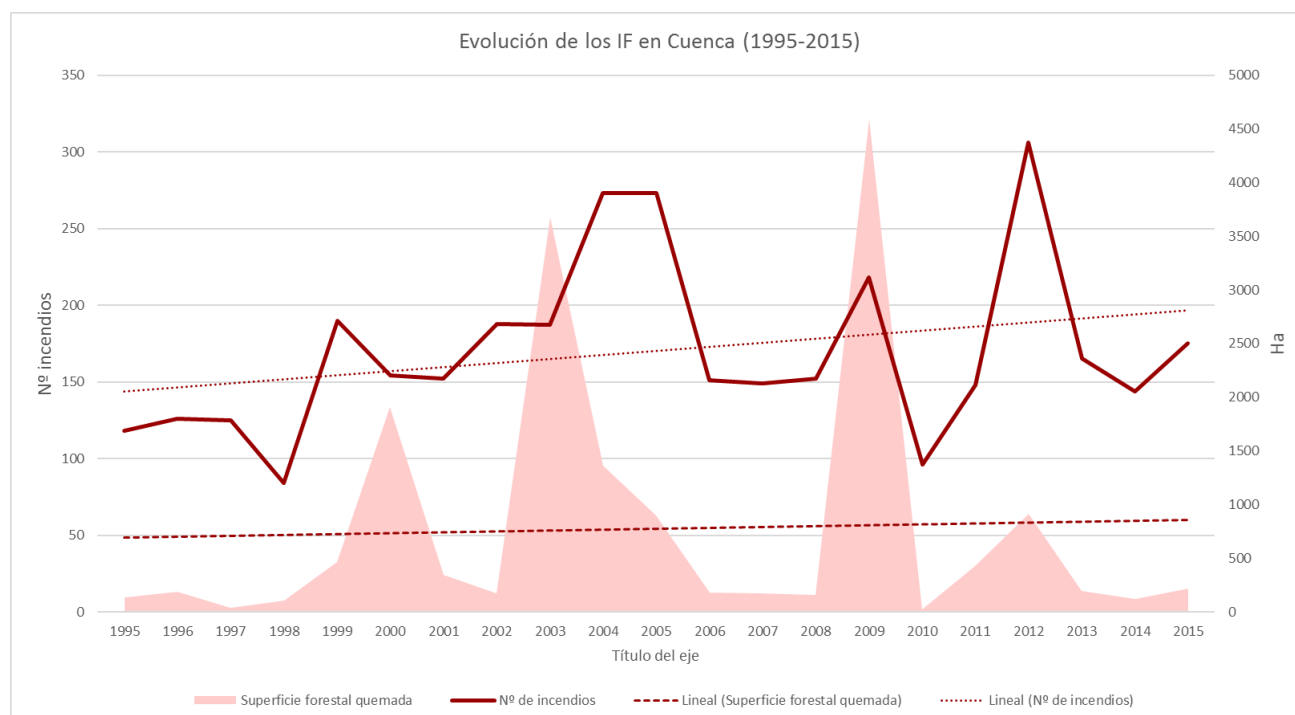


Figura 10. Evolución de los incendios forestales en Cuenca (1995-2015). Fuente. Elaboración propia.

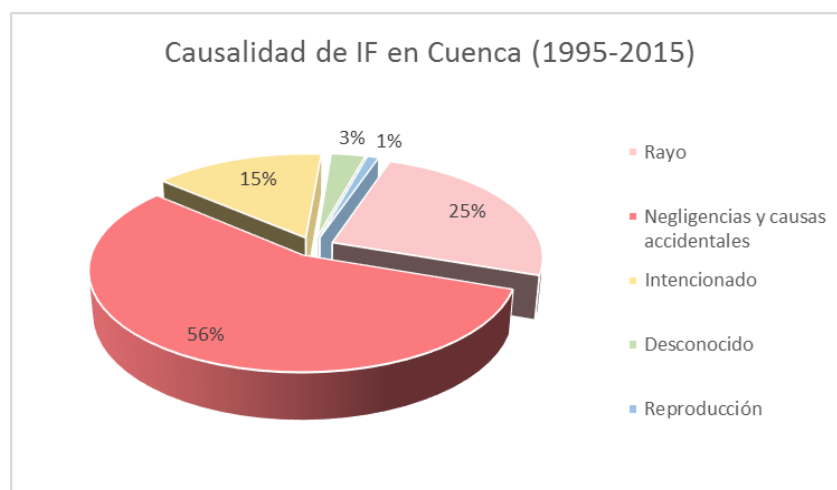


Figura 11. Causalidad de los IF en Cuenca. Fuente. Elaboración propia.

Como puede apreciarse, si bien las fluctuaciones anuales del número de incendios son pequeñas, la superficie forestal afectada sufre grandes variaciones no coincidiendo exactamente con los picos de número de incendios, sino que están más influenciadas por la sequía estival de cada año.

Centrándonos en la causalidad de estos incendios y conforme a lo mostrado en el gráfico anterior, la provincia de Cuenca presenta un elevado número de incendios por rayo, es decir, incendios naturales

que son un elemento más que moldea el ecosistema como puede serlo el agua o el suelo. A pesar de esto, la inmensa mayoría de los incendios forestales tienen origen antrópico, destacando sobre todo las negligencias y causas accidentales como la causa principal en la provincia (56%). Los incendios intencionados ocupan un 15%, siendo un porcentaje sensiblemente inferior a la media regional y nacional.

Si clasificamos los incendios en función de la superficie forestal que queman, se puede concluir que la inmensa mayoría, más de un 80%, son conatos, es decir, tienen menos de 1 ha de superficie. Tan solo un pequeño porcentaje, inferior al 1%, se convierte en un incendio que quema más de 100 ha forestales.

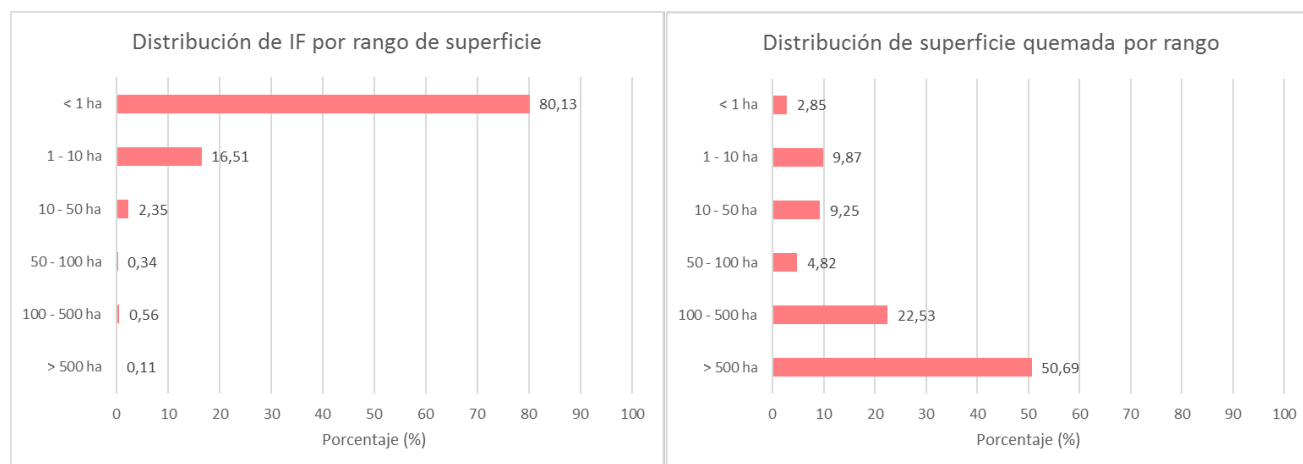


Figura 12. Distribución de IF por rango de superficie y superficie quemada en Cuenca. Fuente. Elaboración propia.

Ahora bien, si atendemos a la superficie forestal total que cada rango de incendio quema obtenemos que ese pequeño porcentaje de incendios mayores de 100 ha calcina más del 73% de la superficie total quemada en el periodo comprendido entre 1995-2015. Por tanto, el suceso menos frecuente se convierte, sin embargo, en el principal problema. Además, estos incendios se propagan con velocidades e intensidades altas lo que provoca no solo la destrucción casi total de la cubierta vegetal, sino también problemas de protección civil y de infraestructuras como casas, urbanizaciones, etc.

Durante el periodo anterior a 1984, no se tenía en consideración la toma de datos de los incendios forestales que ocurrían. Por tanto, apenas se tiene constancia de datos referentes a los incendios de aquel periodo. La siguiente tabla refleja los incendios forestales mayores de 500 ha ocurridos en la provincia de Cuenca desde 1968 hasta 2015 según la *Estadística de Grandes Incendios Forestales (EGIF) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)*.

Tabla 10. Estadística de *Grandes Incendios Forestales (GIF)* en la provincia de Cuenca. Fuente. Elaboración propia.

Periodo	GIF (IF ≥ 500 ha)	Superficie afectada (ha)
< 1971	4	2176
1971 - 1980	2	1220
1981 - 1990	10	14901
1991 - 2000	6	25721
2001 - 2010	3	6777
2011 - 2015	0	0

3.2. Recurrencia de incendios en la zona de estudio

La frecuencia de incendios forestales acontecidos en la zona de estudio es baja, con una media de comprendida entre 1 y 3 incendios cada 10 años, según análisis de incendios históricos. La media de la superficie quemada se ha ido reduciendo con el paso de los años.

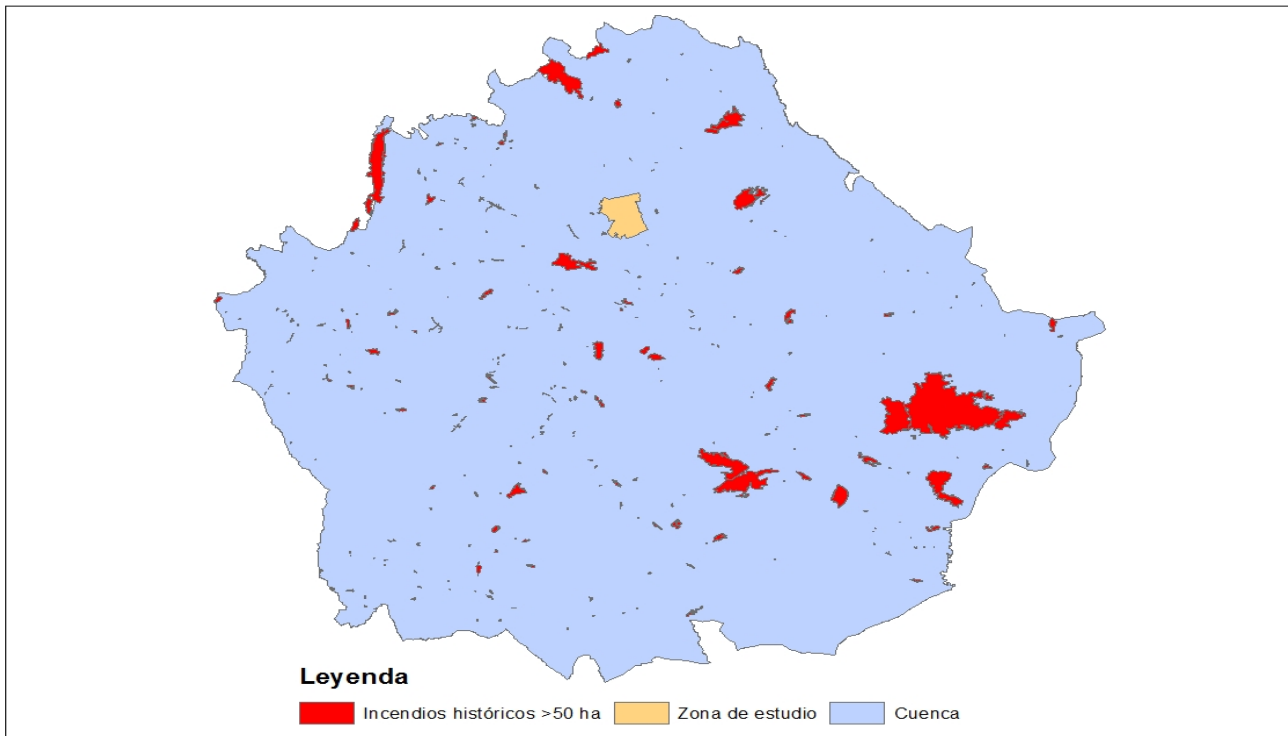


Figura 13. IFs históricos >50 ha en la provincia de Cuenca (1980-2019). Fuente. UNAP COR Castilla-La Mancha.

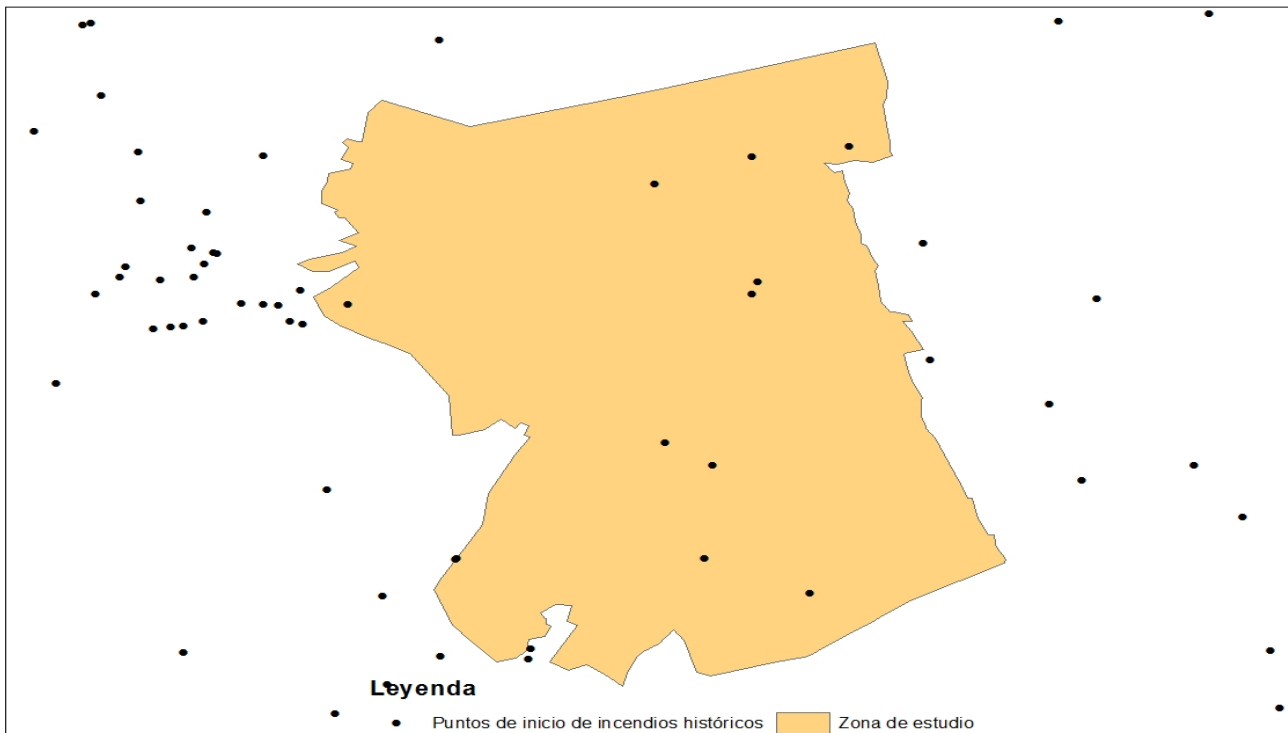


Figura 14. Puntos de inicio de IF en la zona de estudio y área de influencia. Fuente. UNAP COR Castilla-La Mancha.

3.3. Tipología de incendios forestales

La tendencia de los G/Is a mostrar comportamientos extremos va asociada a incendios dominados por viento e incendios convectivos. En los siguientes subapartados se describen brevemente algunas de las principales características que definen las diferentes tipologías de incendio.

3.3.1. Incendios dominados por viento

En los incendios dominados por viento, el motor del incendio es el viento. Esta tipología de incendio se caracteriza por incendios de gran extensión en los que se puede predecir más o menos la dirección de avance. La columna de convección se encuentra tumbada por su efecto, conduciendo la cabeza del incendio a los combustibles que permanecen sin arder. Los saltos de fuego son habituales debido al transporte de pavesas a gran distancia, generando focos secundarios que tienen gran influencia en la propagación.

Las principales características de los incendios dominados por viento son:

- Velocidad de propagación muy alta
- Saltos de fuego a grandes distancias
- Dirección de propagación predecible
- Zonas seguras para operaciones de extinción (cola y flancos)
- Principal amenaza (cambios de dirección de viento)
- Suelen afectar a grandes superficies

3.3.2. Incendios convectivos

Esta tipología de incendios se caracteriza por la influencia de la columna convectiva sobre el comportamiento del incendio. Estos incendios se generan en condiciones de inestabilidad atmosférica debido a que la acumulación y disponibilidad de combustible suficiente intensidad para generar ambiente de fuego. La dirección de avance y la velocidad de propagación son difíciles de predecir y pueden presentar repentinos cambios en el comportamiento del fuego. Los saltos de fuego no suelen darse a grandes distancias, pero pueden ocurrir en cualquier dirección debido a la generación de focos secundarios masivos. El desplome de la columna convectiva puede suponer el mayor riesgo de este tipo de incendios tanto para los equipos de extinción como para el personal civil. Los vientos en superficie son absorbidos hacia la base del fuego desde todas las direcciones para reemplazar al aire caliente que la columna de convección desplaza hacia arriba. Estos vientos alimentan con oxígeno al frente de fuego, incrementando la actividad del mismo que, a su vez, deseca los combustibles adyacentes favoreciendo la propagación.

Las principales características de los incendios convectivos son:

- Dirección de avance y velocidad de propagación difíciles de predecir
- Cambios repentinos en el comportamiento del fuego
- Posibilidad de saltos de fuego en todas las direcciones
- Principal amenaza (desplome de la columna convectiva)

3.3.3. Incendios topográficos

Los incendios topográficos son aquellos cuya propagación se ve influenciada principalmente por la configuración del terreno y la interacción de la misma con la circulación de vientos, cuya dinámica local de vientos se origina por calentamiento solar diferenciado de la superficie terrestre pero donde los vientos dominantes o el potencial convectivo de la atmósfera no afectan de forma notable al comportamiento del incendio. Estos incendios presentan su mayor potencial durante el día y bajan de intensidad durante la noche.

Las principales características de los incendios topográficos son:

- Dirección de avance, velocidad de propagación y cambios de comportamiento del fuego fáciles de predecir
- Alta intensidad diurna y baja intensidad nocturna

4. METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE LOS PEGS

Para la localización de los PEGs se seguirá la metodología propuesta por Costa (Costa et al., 2011). La secuencia metodológica seguida en este estudio es la que se describe a continuación:

1. Identificación de los grandes incendios forestales GIF acontecidos en la zona de estudio o su entorno, mediante la clasificación en incendios tipo desarrollada por (Costa et al., 2011).
2. Caracterización de los escenarios meteorológicos más desfavorables para la zona de estudio descritos en el apartado 2.2.1.5. *Condiciones meteorológicas de la época de peligro*.
3. Búsqueda de los puntos más desfavorables de inicio de incendio mediante la determinación de los puntos de fuego que generan los mayores ejes de propagación, simulando diferentes frentes de fuego en el perímetro de la zona de estudio mediante el módulo probabilístico de *Wildfire Analyst (WFA)* en plena alineación (Campbell, 1995) para favorecer la máxima propagación del fuego en escenarios de “Incendios tipo”.
4. Simulación de 100 incendios bajo condiciones meteorológicas determinadas y constantes por cada punto de inicio seleccionado mediante el módulo probabilístico de *WFA* para los escenarios de “Incendio tipo” definidos. El objetivo es buscar aplicaciones de la herramienta “Tiempo de mínimo recorrido”, en adelante *MTT*, con el fin de conocer los principales ejes de propagación para los diferentes escenarios. Unión mediante el programa *ArcGIS* de todos los *MTT* obtenidos desde cada punto para obtener el *MTT* de la zona de estudio.
5. Localización de los puntos de unión de los diferentes *MTT*, los cuales se van a denominar *Nodos de Propagación* (Quílez, 2015).
6. Seleccionar cuáles de esos nodos se consideran *Puntos Estratégicos de Gestión*, en base a la metodología de Costa (Costa et al., 2011).
7. Análisis del territorio con el fin de priorizar las actuaciones y localizar las *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX)*. Para ello se seguirán los criterios descritos a continuación.
 - a. Valor del PEG.
 - b. Zona fuera de capacidad de extinción.
 - c. Limitaciones por pendiente.
8. Describir las actuaciones propuestas para las *ZOMOEX*.

4.1. Determinación del “Incendio Tipo”

Dado el reducido número de GIFs producidos en la provincia de Cuenca no se consideran suficientes para abordar un estudio que genere datos significativos sobre de la tipología de incendio dominante en la provincia de Cuenca. Por ello, se tomará como referencia el estudio elaborado por Acebrón (Acebrón, 2017) en la provincia de Guadalajara, por ser provincias limítrofes con similares características desde el punto de vista de la tipificación de los incendios forestales.

Acebrón ha seguido la metodología utilizada por el *Grup de Recolzament en Actuacions Forestals (GRAF)* de *Bombers de la Generalitat de Catalunya* para definir los “Incendios tipo”. Esta metodología ha seguido el esquema del proceso metodológico para la tipificación de los incendios tipo (Piqué et al., 2011). Según este, los bloques de trabajo se han estructurado en cuatro fases:

1. Creación de una base de datos de incendios de la provincia de Guadalajara (1968-2015), con información sobre sus perímetros y fechas de ocurrencia.
2. Análisis del patrón de propagación de cada incendio identificado ≥ 50 ha o de una superficie forestal menor pero significativa en cuanto a comportamiento del fuego.
3. Análisis de la situación sinóptica y de las observaciones meteorológicas locales asociadas a cada incendio identificado.
4. Identificación de los incendios tipo a partir de la información obtenida en las fases anteriores.

En la siguiente tabla (ver *Tabla 11*) se describen las diferentes tipologías de incendios con el propósito de relacionarlas con la singularidad y esquema de propagación, añadiendo algunas oportunidades para su control.

Tabla 11. Descripción de los incendios tipo de la zona. Fuente. *Acebrón, 2017*.

Singularidad	Incendio Tipo	Esquema de propagación y estrategias
Terreno llano o relieve poco marcado	Viento en llanos	Sigue la dirección del viento y se abre en un ángulo de 40-60° según la intensidad del mismo.
Relieve marcado	Viento con relieve	En sierras alineadas con la dirección del viento sigue las crestas. En sierras perpendiculares a la dirección del viento aparecen contravientos que facilitan la propagación ascendente debido a turbulencias en la ladera expuesta al viento de tipo contrario o no expuesta al viento mediante efecto directo. Oportunidades: al final de la divisoria o cuando esta cambia de dirección, en sus bifurcaciones o donde se manifiestan contravientos.
Viento perpendicular al eje de cresta o afectado por el relieve	Viento con alineación topográfica	En zonas llanas acelera la propagación con posibilidad de lanzamiento de focos secundarios a media-larga distancia mientras que en zonas con relieve acusado se comporta como un fuego topográfico. Presenta mucha variabilidad en cada uno de sus frentes según sea la combinación de las fuerzas de propagación. Oportunidades: zonas de umbría en descendente. Los ensanches de flanco comprometen los puntos críticos creando nuevas carreras topográficas.
Vientos topográficos de ladera	Topográfico estándar	Durante el día sigue la máxima pendiente y las laderas insoladas. Forma de los perímetros: laderas y cuencas hidrográficas. Los puntos críticos son barrancos, nudos de barranco y la posición de la cola o flancos que alcancen puntos con potencial para generar nuevas carreras.
Tormenta cercana y rayos con inestabilidad	Tormenta cercana	Las tormentas en formación succionan la masa de aire a su alrededor y, en el momento que descargan, la expulsan. Los incendios en un primer momento experimentan un efecto de succión hacia la tormenta y, cuando esta descarga, la expulsión es en sentido completamente opuesto. Los incendios de este tipo tienen como factor de propagación el viento, puesto que es el aire succionado y expulsado de la tormenta quien los mueve.
Igniciones de rayos asociados a la inestabilidad atmosférica	Tormenta con rayos	Los rayos normalmente caen en las partes altas e inician fuegos descendentes con un comportamiento puramente topográfico. El riesgo de estos fuegos es que se pueden ocasionar en los barrancos y así iniciar carreras ascendentes topográficas. Existen casos de incendios que aguantan sin propagar días hasta que encuentran condiciones para propagarse.

4.2. Simulación de incendios con Wilfire Analyst

En este estudio se propone la utilización del simulador de incendios forestales *Wildfire Analyst*, en adelante *WFA*, por ser una herramienta muy potente en cuanto a rapidez computacional que genera diferentes salidas para analizar el comportamiento de los incendios. Entre estas salidas se encuentran las principales trayectorias de propagación del incendio o caminos de fuego, también llamados *Minimum Travel Time (MTT)* (Finney, 2006), que muestran cómo se mueven las principales trayectorias del incendio bajo un escenario meteorológico definido.

El modelo de propagación predeterminado en *WFA* es el modelo de *Rothermel* y las modificaciones propuestas por *Albini* (Albini, 1976) junto con el modelo de fuego de copas propuesto por *Van Wagner* (Van Wagner, 1977) y *Rothermel* (Rothermel, 1991). Acepta los modelos de combustible de *Scott y Burgan* (Scott y Burgan, 2005), así como modelos personalizados de combustible. También pone en práctica uno de los modelos empíricos existentes, el propagador de incendios chileno *KITRAL*.

Este simulador de incendios está basado en la integración de cuatro elementos:

- Procesador de datos de entrada.
- Generador de viento de alta resolución
- Modelos de propagación.
- Salida en sistemas *GIS 2D* y *3D*

Las salidas estándar de WFA son:

- Velocidad de propagación, longitud de la llama e intensidad del fuego.
- Análisis de control de supresión.
- *Sistema de Predicción Campbell* (Campbell, 2005) análisis de alineación de las fuerzas.
- Viajes mínimos de trayectoria en el tiempo de fuego
- Fuego de copas.
- Contenido de humedad
- Frente ardiendo y longitud de llamas.
- Duración de la combustión

4.2.1. Localización de peores puntos de inicio de incendios forestales

En este estudio, se ha optado por realizar simulaciones a partir de los puntos de inicio de incendio que generan mayores carreras de propagación para los escenarios meteorológicos definidos en lugar de utilizar puntos de inicio históricos o aleatorios. Para localizar estos puntos, en primer lugar, se han realizado dos simulaciones de frentes de fuego en plena alineación con cada orientación de vientos definida para los escenarios de ocurrencia de GIFs (ver Tabla 12) para geolocalizar aquellos puntos que generan mayores carreras de propagación. Dichos puntos serán la base de las posteriores simulaciones de incendio. La extensión de la simulación se ajustó a la zona de estudio y se realizó para 48 horas en propagación libre desde el inicio del incendio.

Los principales ejes de propagación se localizan utilizando la salida *MTT* de WFA. Para realizar el proceso de cálculo de los *MTT* con WFA, hay que tener en cuenta que este simulador trabaja de la siguiente manera:

1. Calcula el número de celdas que han ardido a causa de una celda.
2. Calcula el Logaritmo del valor de la capa anterior para homogeneizar los datos.
3. Divide el valor obtenido entre el máximo valor de la capa para que la leyenda quede definida entre valores comprendidos entre 0 y 1, lo que hace que el cálculo no sea absoluto sino relativo a la simulación en cuestión.

La herramienta *MTT* pierde eficacia cuando las condiciones ambientales sufren frecuentes cambios, pero arroja buenos resultados cuando las mismas son constantes. Por tanto, las simulaciones se realizarán con escenarios meteorológicos fijos a excepción del modelo de combustible para cada una de las orientaciones de viento más desfavorables.

Una vez analizados los estudios de humedad del combustible de Castro y Soriano (Castro et al., 2007; Soriano y Quílez, 2017) se ha optado por fijar valores de humedad del combustible vivo de un 30% para los herbáceos y un 60% para los leñosos, un menor valor de los herbáceos supondría que se considerasen como combustibles muertos y para los leñosos, aún existiendo registros de valores inferiores, éstos se producen en momentos puntuales y en zonas con condiciones climatológicas y meteorológicas más severas que las obtenidas para la zona de estudio. Para el combustible muerto, la humedad se ha calculado mediante las tablas elaboradas por Rothermel (Rothermel, 1983) utilizando las variables meteorológicas de la Tabla 12 en condiciones de máxima insolación y 12 hora solar.

Tabla 12. Variables utilizadas en la simulación de incendios forestales. Fuente. Elaboración propia.

Variable	Valor	Intervalo	Valor	Intervalo
Temperatura (°C)	35,06		35,06	
Humedad relativa (%)	11,39		11,39	
Velocidad viento (km/h)	4,97	± 21	4,97	± 21
Dirección viento (°)	136	± 20	272	± 20
Hum. combustible 1h (%)	2		2	
Hum. combustible 10h (%)	4		4	
Hum. combustible 100h (%)	6		6	
Hum. combustible vivo herbáceo (%)	30		30	
Hum. combustible vivo leñoso (%)	60		60	

4.1.2.2. Simulación de IFs para los escenarios meteorológicos de ocurrencia de GIF

Una vez obtenidos los peores puntos de inicio de incendio, se realizarán 100 simulaciones en modo “Probabilístico” de WFA con el objetivo de obtener el *MTT* desde cada punto de inicio e integrarlos posteriormente mediante el procesamiento de los datos en *ArcGIS* con el objetivo de obtener el *MTT* de la zona de estudio y seleccionar los nodos de propagación de la misma.

La simulación probabilística permite trabajar con variaciones de las condiciones meteorológicas y de los combustibles. Los parámetros meteorológicos se han definido tras el estudio de los valores más desfavorables en la época de alto riesgo de incendio forestales y que se muestran en la *Tabla 16* del apartado anterior.

4.1.2.3. Determinación de los Nodos de Propagación y PEGs

Los nodos de propagación se pueden definir como aquellas zonas donde se acumulan los *MTT* generados desde diferentes puntos de inicio de incendio (Quílez, 2015), los cuales se encuentran en plena alineación con las condiciones meteorológicas más desfavorables para ese punto, especialmente la dirección de viento.

Sin embargo, para que un nodo de propagación se considere *PEG* debe cumplir al menos una de las siguientes condiciones (GVA, 2013).

- Generen cinco o más ramificaciones
- Una carrera mayor de 3000 metros
- Cuatro ramificaciones y una carrera de más de 1500 metros
- Tres ramificaciones y una carrera de más de 2000 metros
- Dos ramificaciones y una carrera de más de 2500 metros

Una vez obtenidos los *PEGs*, se priorizarán aquellos que se encuentren en zonas fuera de capacidad de extinción ($L_{línea} > 3$ metros; $V_{propagación} > 2$ km/h; A_{copas} = antorcheos) y se les asignará una puntuación en función del número de ramificaciones que presentan. En aquellos *PEGs* que se generen carreras de más de 3000 metros, la puntuación asignada se duplicará.

$$Valor\ PEG = N^{\circ}\ ramificaciones \quad si\ X = 0$$

$$Valor\ PEG = N^{\circ}\ ramificaciones * 2 \quad si\ X > 0$$

Siendo:

$$X = N^{\circ}\ carreras > 3000\ metros.$$

4.1.3. Localización de Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX)

Una vez calculadas las puntuaciones de cada PEG, se clasificarán en prioridades altas, medias y bajas como criterio para ubicar *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción*, en adelante ZOMOEX. Estas zonas se definen como áreas del territorio cuyo objetivo principal es aumentar la eficacia y eficiencia de las operaciones de extinción en escenarios de ocurrencia de *Grandes Incendios Forestales (GIF)* en las que la estrategia, táctica y maniobras están predefinidas en base al “Incendio tipo”. En el diseño de dichas zonas se tendrán en cuenta los siguientes factores:

- Generar estructuras de modelos de combustible que se encuentren dentro de capacidad de extinción en escenarios de ocurrencia de *GIF*, para ralentizar la propagación de los mismos y dotar a los equipos de extinción de zonas de oportunidad.
- Dotar a las zonas de hidrantes o puntos de agua para la mejora de la cadencia de descargas de los medios aéreos y minimizar los desplazamientos de autobombas y nodrizas.
- Excluir aquellas zonas que presenten limitaciones de acceso a los equipos de extinción o limitaciones para el trabajo de maquinaria pesada.
- Asegurar la seguridad de los equipos de extinción.
- Definir los puntos de anclaje de las ZOMOEX.
- Diseñar “*Planes de operaciones tipo*” en base al comportamiento de los GIF de la zona, donde se establezcan la estrategia, táctica y maniobras previamente al desarrollo del incendio.

La necesidad de priorizar los PEGs para ubicar ZOMOEX parte de la necesidad de gestionar y optimizar los recursos económicos. Debido a que existe una deficiencia normativa que cuantifique qué recursos deben emplearse a la prevención de incendios forestales, se tomará como referencia las normas de prevención de la Comunidad Valenciana, que indican que la superficie máxima dedicada a tratamientos selvícolas preventivos no debe sobrepasar el 6% de la superficie de terreno a defender según las recomendaciones de la Conselleria de Gobernación y Justicia.

5. RESULTADOS

En este apartado se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta en el apartado anterior.

5.1. Incendio tipo

Debido al reducido número de incendios con comportamiento de GIF de la provincia de Cuenca, se ha optado por utilizar los resultados obtenidos por Acebrón (Acebrón, 2017) para la provincia de Guadalajara.

En esta provincia, la principal ocurrencia de GIFs y mayor superficie afectada se produce en condiciones sinópticas de situaciones de sur con afección de la masa sahariana tal y como se representa en la *Tablas 13 y 14*. Como se puede observar, el resultado mostrado arroja datos muy claros en cuanto al predominio e influencia existente de los episodios de las entradas de la masa de aire cálido procedente del continente africano sobre el área de estudio.

Tabla 13. % de IFs y superficie afectada por condiciones sinópticas en Guadalajara. Fuente. *Acebrón, 2017*.

Condiciones sinópticas	Incendios forestales (%)	Superficie afectada (%)
Situación de sur	73,49%	88,02%
Situación de norte	15,66%	5,96%
Situación de poniente	9,64%	5,86%
Situación de levante	1,20%	0,16%

Tabla 14. % de IFs y superficie afectada por afección sahariana en Guadalajara. Fuente. *Acebrón, 2017*.

Afección Sahariana	Incendios forestales (%)	Superficie afectada (%)
Si	53,01%	80,65%
No	46,99%	19,34%

Si analizamos de forma más explícita los resultados atendiendo a la tipología de incendios y el porcentaje de la superficie quemada que representa cada una de ellas respecto al total, se observa en la *Tabla 15* que la tipología mayoritaria, en cuanto a superficie afectada se refiere a incendios de viento con alineación topográfica, pero atendiendo al porcentaje de incendios con comportamiento de GIF podemos afirmar que la variable que condiciona más este tipo de comportamientos es el viento, presente en las tres tipologías con mayor peso.

Tabla 15. % de IFs y superficie afectada por tipología de incendio en Guadalajara. Fuente. *Acebrón, 2017*.

Tipología de incendio	Incendios forestales (%)	Superficie afectada (%)
Viento con alineación topográfica	15,66%	57,00%
Viento en llanos	37,35%	18,00%
Topográfico estándar	14,46%	9,00%
Viento con relieve	21,69%	8,00%
Tormenta cercana	3,61%	4,40%
Tormenta	7,23%	3,60%

5.2. Localización de los PEGs

En el proceso de localización de los PEGs, se simularon dos frentes de fuego con las alineaciones de viento características de los escenarios de ocurrencia de GIFs en la zona de estudio para localizar los principales ejes de propagación desde los frentes de incendio generados mediante la herramienta MTT. Esta herramienta arroja valores comprendidos entre 0 y 1, los cuales se han filtrado a partir de valores superiores a 0,6 para representar exclusivamente las carreras principales del fuego que se representan en la *Figura 15*.

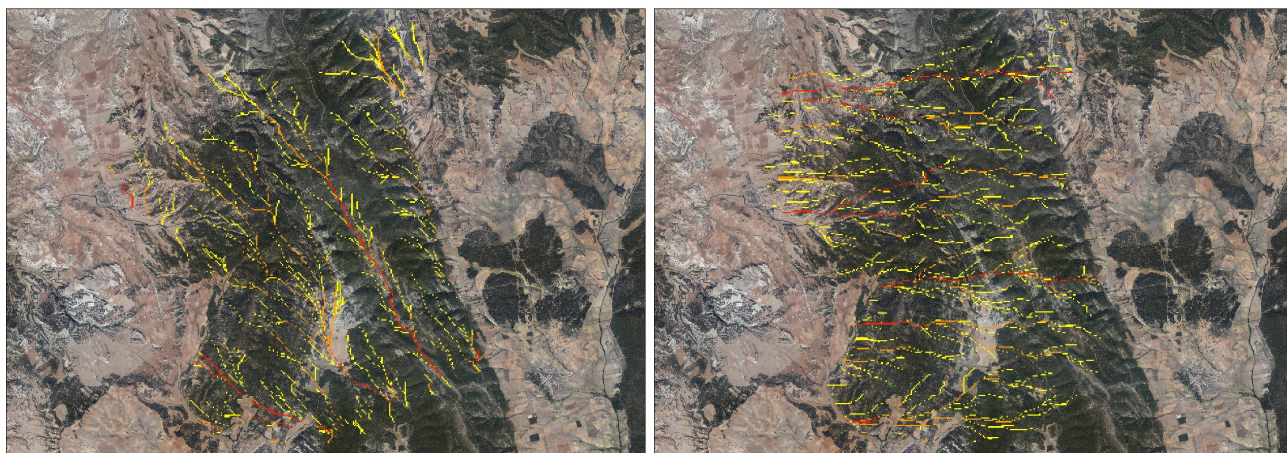


Figura 15. Principales ejes de propagación para las diferentes orientaciones de viento. Fuente. Elaboración propia.

A continuación, se han geolocalizado aquellos puntos que originan las principales carreras de propagación o numerosas ramificaciones (ver *Figura 16*) para poder realizar simulaciones a partir de cada uno de ellos, considerándolos como los peores puntos de inicio de incendio en la zona de estudio. De este análisis se han obtenido 28 puntos críticos de inicio de incendio a partir de los cuales se realizarán las posteriores simulaciones y que se representan en la *Figura 17*.

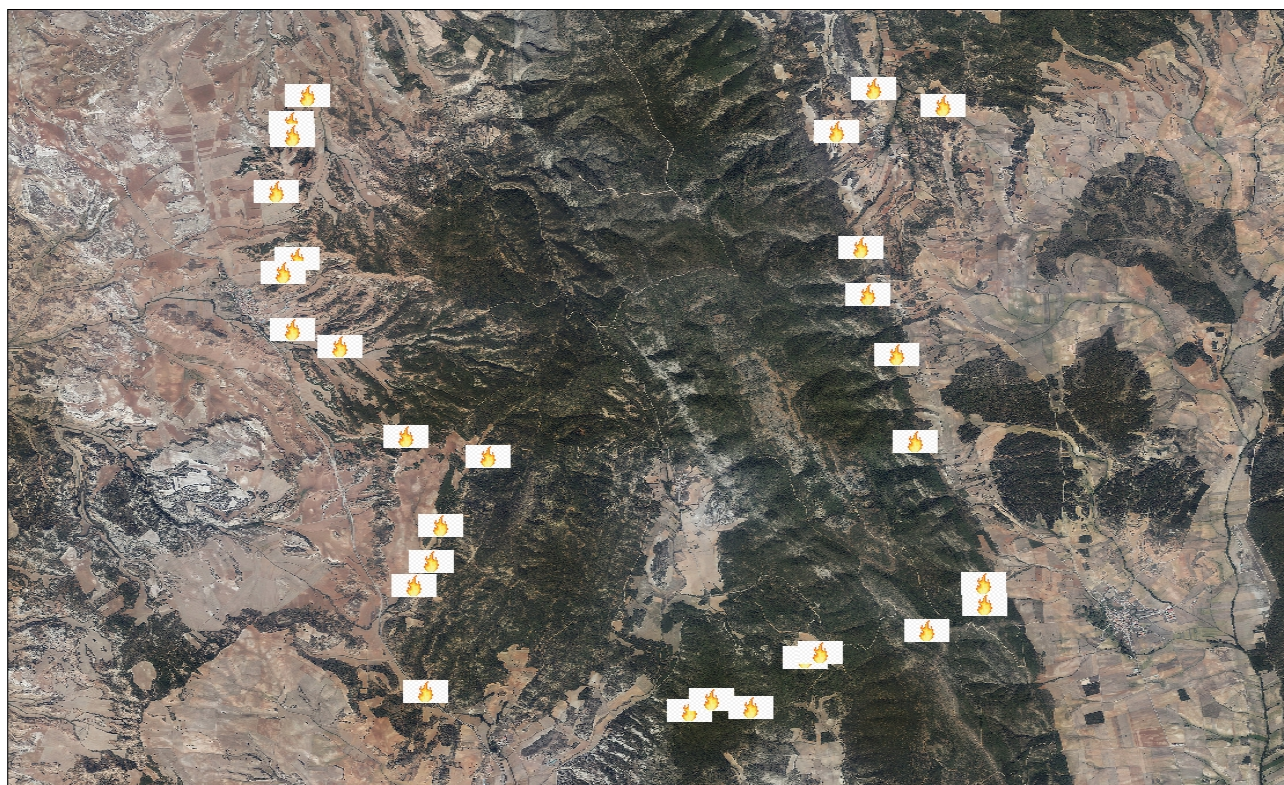


Figura 16. Representación de los peores puntos de inicio de IFs en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

En la siguiente figura (ver Figura 17) se representa el *MTT* obtenido tras las simulaciones realizadas a partir del punto 10 de inicio de incendio. Una vez obtenidos los *MTT* desde cada punto de inicio de incendio, éstos se integrarán en una misma capa mediante el procesamiento de los datos en *ArcGIS*, utilizando la herramienta “*Raster calculator*” para obtener como resultado el *MTT* de la zona de estudio.

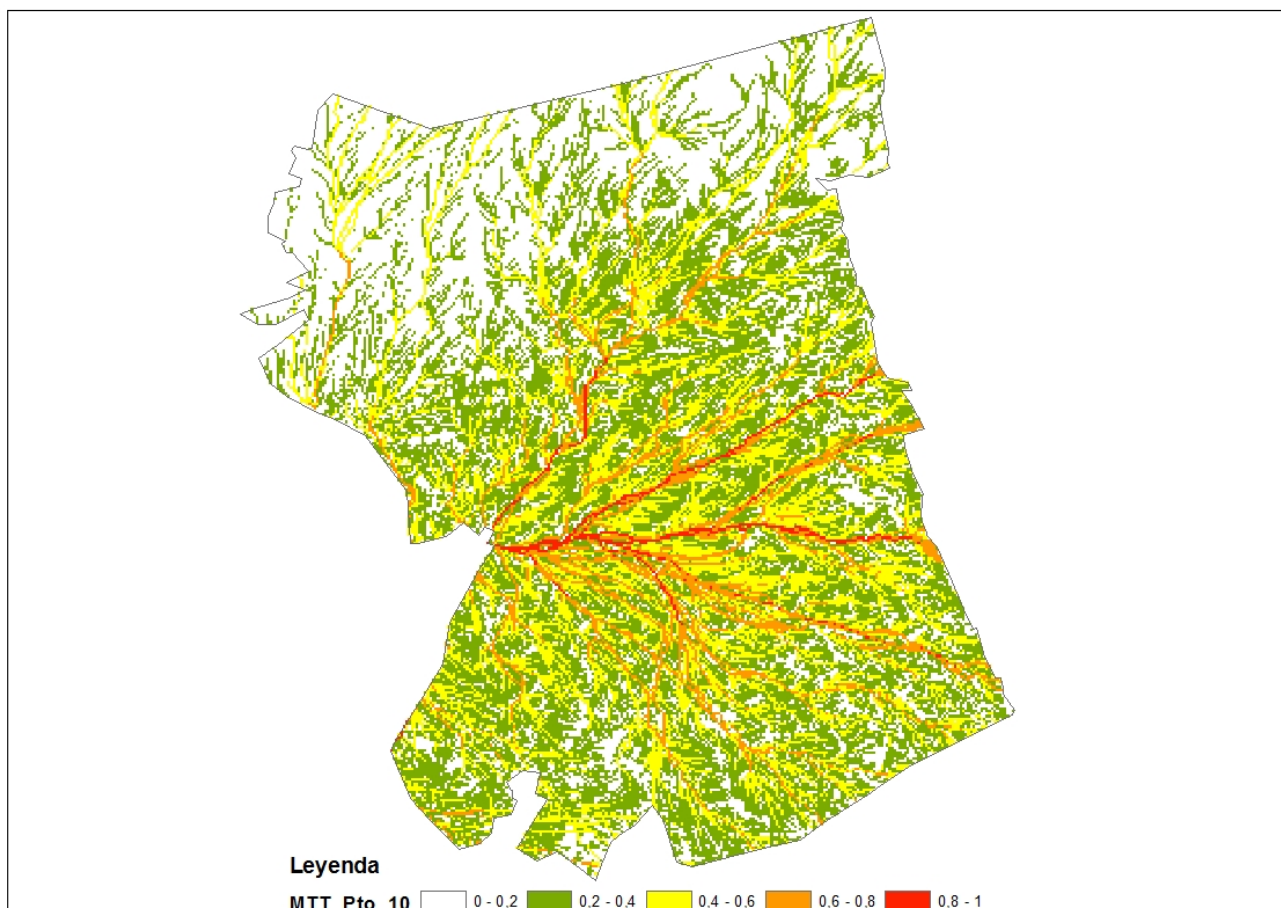


Figura 17. *MTT* obtenido a partir de simulaciones de IFs con origen en el punto 10. Fuente. Elaboración propia.

Una vez obtenido el *MTT* del territorio, se localizan las zonas en las que se acumulan los *MTT*, denominadas nodos de propagación. Para que dichos nodos adquieran condición de *PEG* deben cumplir al menos alguna de las siguientes características:

- Generen cinco o más ramificaciones
- Una carrera mayor de 3000 metros
- Cuatro ramificaciones y una carrera de más de 1500 metros
- Tres ramificaciones y una carrera de más de 2000 metros
- Dos ramificaciones y una carrera de más de 2500 metros

Tras el análisis de los nodos de propagación, obtenemos que 9 de ellos adquieren condición de *PEG*, que son los que se representan en la Figura 18 sobre el *MTT* del territorio. Sin embargo, se seleccionan aquellos *PEGs* que se encuentran fuera de capacidad de extinción en los escenarios de ocurrencia de *GIFs*, representados en la Figura 19 para ser priorizados posteriormente.

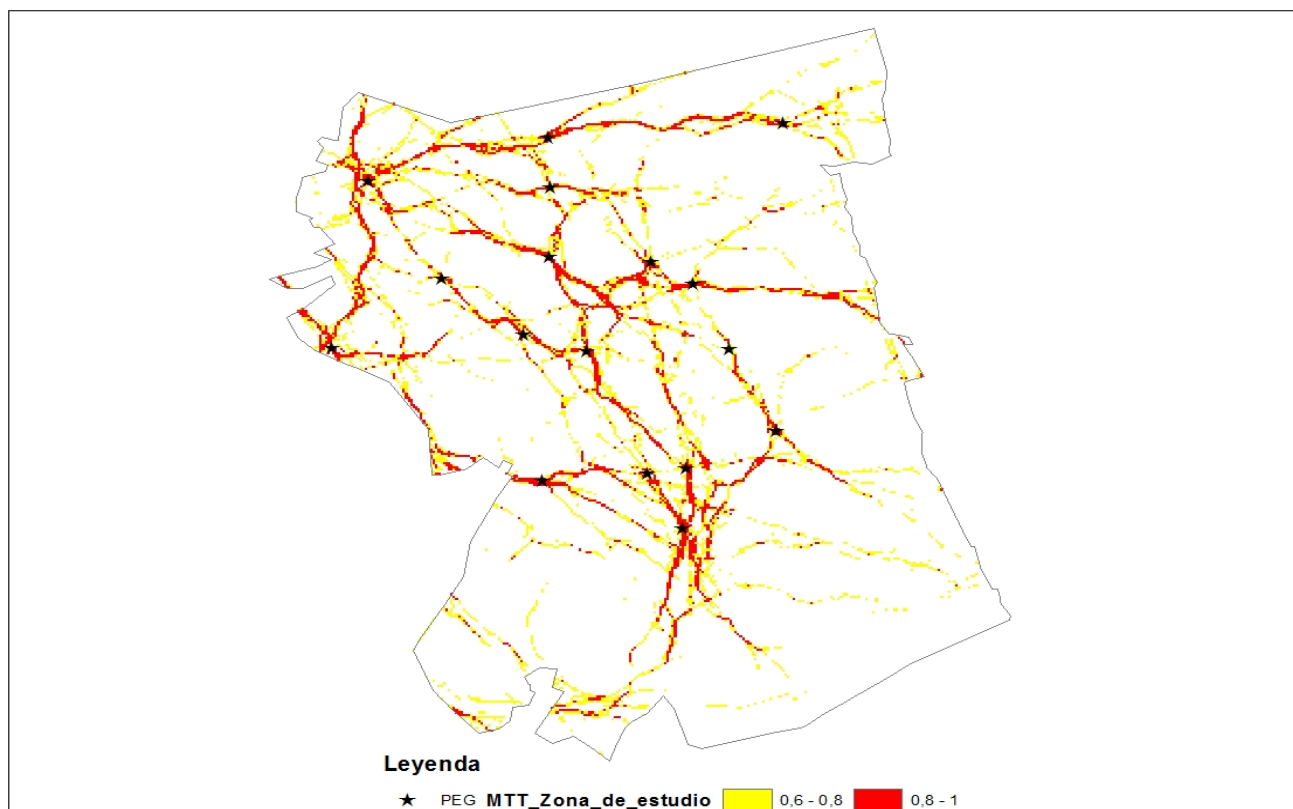


Figura 18. *PEGs* de la zona de estudio sobre el *MTT* del territorio. Fuente. Elaboración propia.

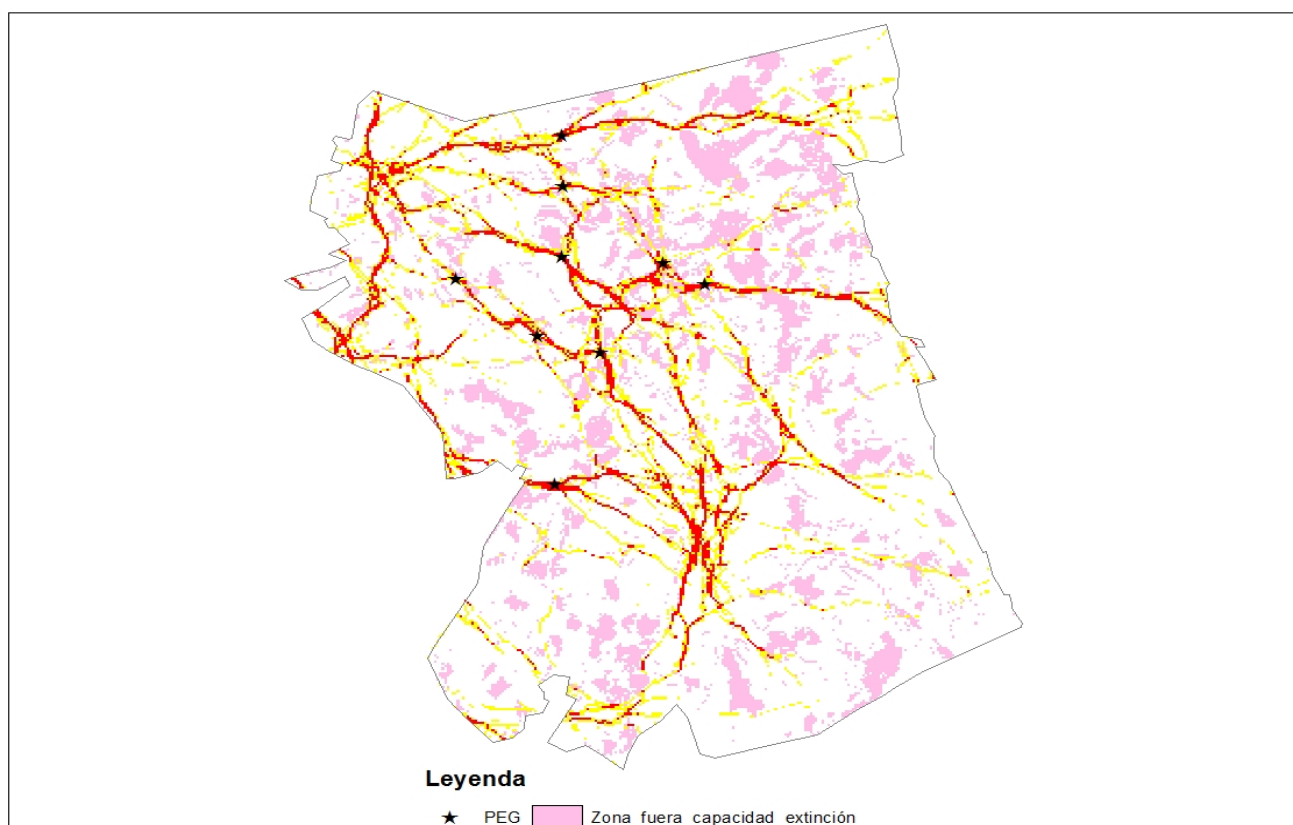


Figura 19. *PEGs* situados en zonas fuera de capacidad de extinción. Fuente. Elaboración propia.

Debido a que el objetivo de este estudio es crear *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción (ZOMOEX)*, uno de los factores limitantes considerados para la selección de un *PEG* es la pendiente del terreno. El límite se ha establecido en pendientes mayores del 55% debido a las limitaciones de trabajo de la maquinaria forestal pesada, fijado en un 45% para trabajos en curva de nivel y un 55% para trabajos en línea de máxima pendiente en sentido ascendente (García, 2015). Aunque dicha maquinaria, en líneas de máxima pendiente en sentido descendente puede trabajar con pendientes del 75%, no se ha considerado dicho valor porque aún pudiendo trabajar en bajada debería garantizarse una salida segura de la maquinaria.

En la siguiente figura (ver Figura 20) se muestra la ubicación de un *PEG* sobre los intervalos de limitación por pendientes establecidos en este estudio.

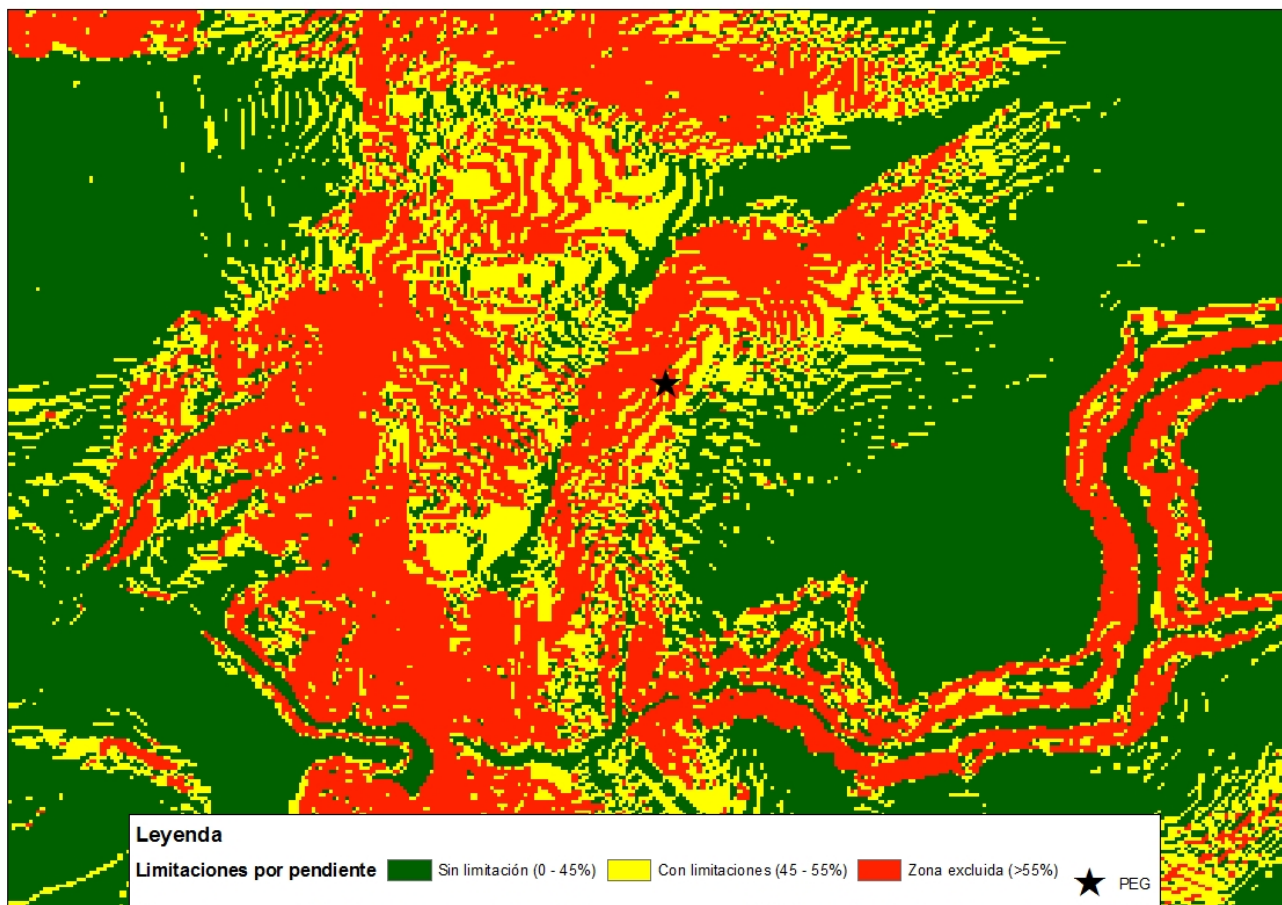


Figura 20. Ubicación de un PEG sobre los intervalos de limitación por pte establecidos. Fuente. Elaboración propia.

Tras el cruce de información entre las zonas con limitaciones por pendiente y las ubicaciones de los *PEGs*, se descartan uno de los puntos obtenidos, con un resultado final de 8 *PEGs* a los cuales se les asigna una puntuación para evaluar la prioridad de actuación según la metodología descrita en este apartado.

Analizando los resultados y teniendo en cuenta que los recursos son limitados, se han seleccionado aquellos *PEGs* con mayor puntuación para ubicar *ZOMOEX* en cada uno de ellos.

Tabla 16. Clasificación de la prioridad asignada a los PEGs. Fuente. Elaboración propia.

Identificación PEG	Valor	Prioridad
1	2	Baja
2	3	Media
3	4	Alta
4	4	Alta
5	4	Alta
6	4	Alta
7	2	Alta
8	4	Alta

En la siguiente figura (ver Figura 21) se representa la distribución de los PEGs clasificados en función de la prioridad asignada.

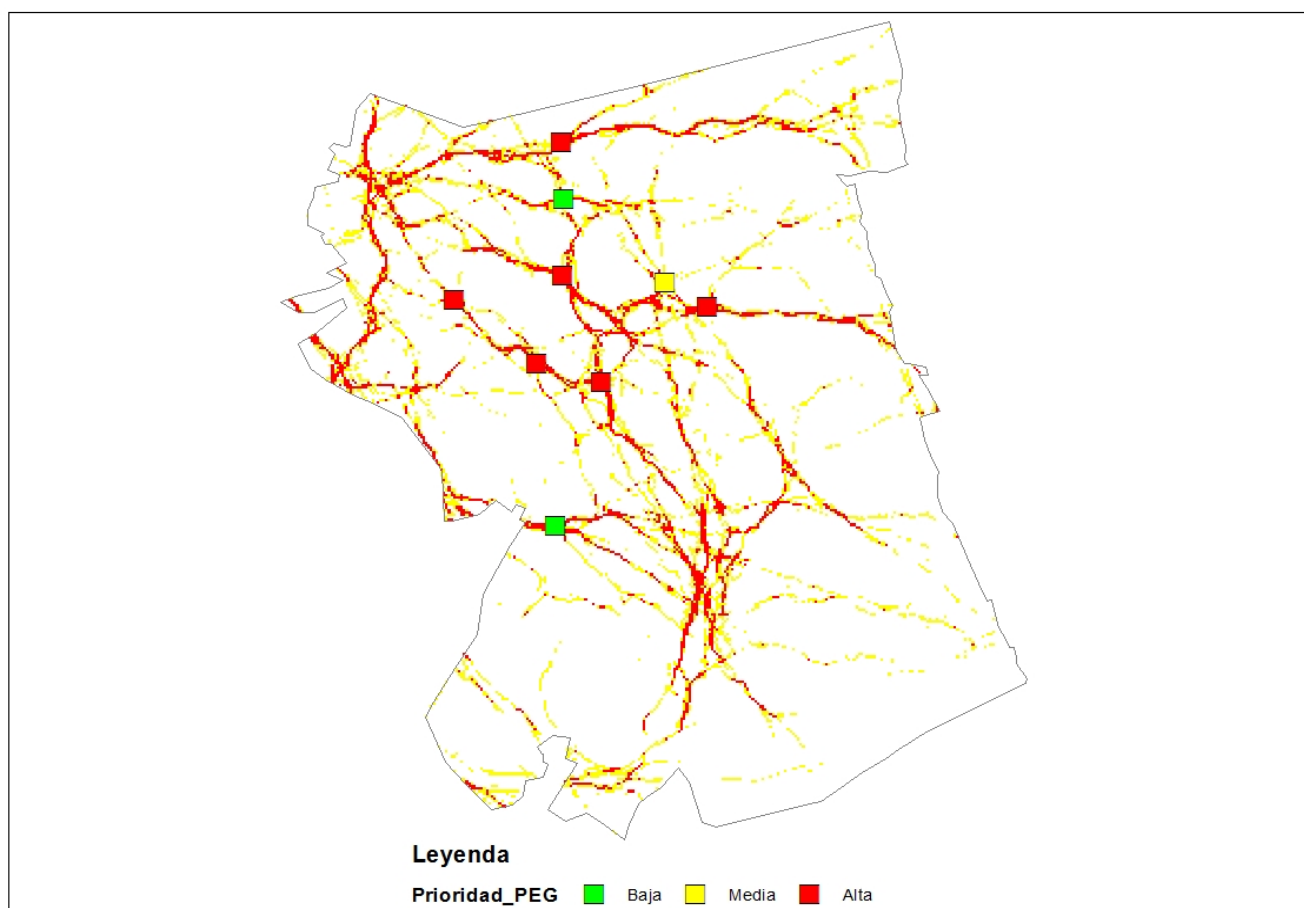


Figura 21. Distribución de los PEGs clasificados en función de su puntuación. Fuente. Elaboración propia.

5.3. Diseño de una ZOMOEX.

El diseño de las ZOMOEX debe gestionarse de forma que estas infraestructuras se interrelacionen entre ellas y se apoyen en infraestructuras ya existentes, zonas de discontinuidad o cultivos que permitan crear una red para realizar operaciones de extinción de rápida consolidación.

En los siguientes subapartados, se expone un ejemplo de diseño de una ZOMOEX, ya que el estudio de las características de cada una requiere de un estudio en mayor detalle, que por limitaciones de tiempo no se puede abordar en su totalidad en este estudio.

5.3.1. Modificaciones de los combustibles

Las zonas fuera de capacidad de extinción donde se acumulan los *MTT* del *PEG* número 8 se encuentran sobre los siguientes modelos de combustible:

- **SH5.** Matorral de clima seco de alta carga. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH5 es el matorral leñoso y los restos de matorral presentes en la hojarasca. La carga de combustible del matorral por superficie es alta, de profundidad de unos 1,2 a 1.8 metros. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es muy alta; longitud de llama muy alta.
- **SH7.** Matorral de clima seco de carga muy alta. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo SH7 es el matorral leñoso y los restos de matorral presentes en la hojarasca. Carga de combustible por superficie muy alta, profundidad de 1,2 a 1,8 metros. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación del fuego alta; longitud de llama muy alta.

Se propone transformar dichos modelos de combustible al modelo SH1, que se corresponde con matorral de clima seco de baja carga en el que el principal propagador del fuego es el matorral leñoso y restos de matorral presentes en la hojarasca. La carga de combustible por superficie del matorral es baja, la capa de hojarasca tiene una profundidad cercana a 30 cm., algunos pastos pueden estar presentes. Comportamiento del fuego: La velocidad de propagación es muy baja al igual que la longitud de la llama.

Así mismo, existen zonas que se encuentran al límite de los valores establecidos como capacidad de extinción y en algunas de ellas se considera necesario realizar modificaciones del combustible. Los modelos presentes son los siguientes:

- **TU2.** Arbolado-matorral de clima húmedo de carga moderada. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TU2 es carga moderada de hojarasca con matorral. Humedad de extinción alta. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación moderada y longitud de llama baja.
- **TU5.** Arbolado-matorral de clima seco de carga muy alta. Descripción: El principal propagador del fuego en el modelo TU5 es una pesada carga de combustible de hojarasca de bosque con matorral o sotobosque de árboles pequeños. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación y longitud de llama moderadas.

Estos modelos se propone modificarlos al modelo TU1 que se corresponde con arbolado-pastizal-matorral de clima seco de baja carga en la que el principal propagador del fuego es una baja carga de pastizal y/o matorral con hojarasca. Comportamiento del fuego: Velocidad de propagación y longitud de llama bajas.

En la siguiente tabla (ver *Tabla 16*) se han dimensionado los diferentes modelos respecto a la longitud de llama y velocidad de propagación en base al modelo de combustible actual utilizando *Wildfire Analyst Pocket* como una primera aproximación de comportamiento del fuego tras las modificaciones de combustible propuestas. Se destaca en rojo aquellos valores fuera de capacidad de extinción.

Tabla 17. Variables de comportamiento del fuego pre o post tratamiento. Fuente. Elaboración propia.

Modelo de combustible		Longitud de llama (m)		Velocidad de propagación (km/h)		Superficie tratamiento (ha)
Actual	Modificado	Actual	Modificado	Actual	Modificado	
SH5	SH1	7,0	1,2	3,0	0,3	14,70
SH7	SH1	6,6	1,2	2,0	0,3	8,24
TU1		0,7		0,1		

Dado que los recursos son limitados, se toma como referencia las recomendaciones de la Conselleria de Governación y Justicia de la Comunidad Valenciana en las que indica que los tratamientos selvícolas preventivos deben ocupar un máximo del 6% de la superficie de terreno a defender. Teniendo en cuenta esta premisa, se analiza la superficie actual dedicada a infraestructuras de prevención contra incendios forestales en la Sierra de Bascuñana. Estos tratamientos preventivos ocupan una superficie de 494 ha para defender

6517 ha, lo cual significa un sobredimensionamiento del 26% de la superficie de referencia. Para el PEG n° 8, la superficie de modificación de combustibles en la ZOMOEX es de 22,94 ha. Aunque el diseño de cada ZOMOEX se adaptará a las características particulares de cada localización, si tomamos de referencia este valor como promedio, la superficie total propuesta sería de 184 ha aproximadamente, lo cual muestra que esta metodología supone una mejora de la optimización de los recursos económicos dedicados a la prevención de incendios que se representa en la *Tabla 18*.

Tabla 18. Comparativa de optimización de recursos de metodología tradicional y PEG. Fuente. Elaboración propia.

Metodología	Sup a defender (ha)	Criterio tratamientos	Sup tratamientos (ha)	Optimización recursos
Tradicional	6517	Sin criterio	494	+ 26%
PEG	6517	Máx 6% Sup	184 (aprox)	- 53%

Para el cambio de modelos de combustible, se propone la utilización de quemas prescritas como método prioritario y desbroces puntuales en aquellas ocasiones en las que las quemas no sean viables por falta de ventanas durante periodos prolongados u otras circunstancias especiales que impidan el desarrollo de las mismas. Para el mantenimiento de las ZOMOEX se propone el pastoreo controlado y quemas prescritas, de forma alternada, en función del desarrollo de las especies presentes y de la palatabilidad de estas.

En la siguiente tabla (ver *Tabla 19*) se muestra una comparativa entre los diferentes tratamientos propuestos para la modificación y mantenimiento de los modelos de combustible presentes en las ZOMOEX.

Tabla 19. Comparativa de tratamientos de modificación del combustible. Fuente. Adaptación de *Quílez, 2015*.

Método	Ventajas	Inconvenientes
Desbroce	<p>Modifica la estructura de los combustibles.</p> <p>La trituración de restos sin extracción favorece la incorporación de nutrientes al sistema.</p> <p>El material depositado y compactado protege el suelo de la erosión.</p> <p>El material depositado y compactado arde con menor intensidad.</p>	<p>Procedimiento costoso.</p> <p>El empleo de maquinaria pesada puede compactar y erosionar el suelo así como eliminar la regeneración natural del arbolado.</p> <p>El material depositado en zonas desarboladas está muy seco en el verano y arde fácilmente con la caída de pavesas.</p>
Quema prescrita	<p>Procedimiento más económico.</p> <p>Reduce la carga de combustible.</p> <p>Modifica la estructura de los combustibles.</p> <p>Efectivo con combustibles vivos y muertos finos.</p> <p>Herramienta válida para la formación de brigadas en el manejo del fuego técnico.</p>	<p>Los días para ejecutarlas son limitados debido a las condiciones meteorológicas.</p> <p>Produce CO₂ y polución del aire.</p> <p>Existe riesgo de daños al arbolado y regeneración.</p> <p>Existe riesgo de facilitar la erosión y pérdida de suelo si se destruye totalmente la vegetación y el mantillo.</p> <p>Puede inducir a una menor liberación de nitrógeno mineral del suelo tras muchas repeticiones.</p>
Pastoreo	<p>Genera economía y fija la población rural en la zona.</p> <p>Producción de productos derivados.</p> <p>Puede integrarse con otros métodos de gestión del combustible.</p> <p>Compacta los combustibles muertos y crea discontinuidades en el combustible.</p> <p>Puede reciclar nutrientes y mejora las condiciones del suelo.</p>	<p>No reduce los combustibles muertos.</p> <p>Ciertas especies no son comidas por el ganado por lo que la reducción del combustible es parcial.</p> <p>Exige inversiones iniciales elevadas en modificaciones del combustible mediante otros métodos.</p> <p>Requiere actuaciones periódicas para el mantenimiento de las estructuras del combustible.</p> <p>Puede compactar el suelo reduciendo la infiltración y propiciando la erosión del mismo.</p>

5.3.2. Red de puntos de agua

El agua es uno de los principales factores en los que basamos las operaciones de extinción. Debido a su importancia, se hace imprescindible contar con una buena red de puntos que permitan y optimicen el trabajo tanto de medios aéreos como terrestres.

La eficacia de los medios aéreos la determinan el tiempo de llegada al incendio y el tiempo entre descargas además de factores derivados de parámetros intrínsecos al trabajo que pueden condicionar la efectividad de la aeronave (Vázquez, 2015). A menor tiempo entre descargas, mayor cantidad de agua o espumógeno se aportará al frente, con el consecuente aumento de la capacidad extintora.

La cadencia de descarga de los helicópteros viene determinada por la presencia de puntos de agua aptos para la toma. Un inventario detallado de los puntos de agua aptos para distintos modelos de helicópteros es básico para poder analizar la eficacia de estas aeronaves. Para el cálculo de la cadencia de descargas se utilizará como velocidad de crucero con helibalde desplegado y cargado equivalente a 70 nudos (130 km/h) para helicópteros ligeros y medios, 80 nudos (150 km/h) para helicópteros pesados. Se incluye un minuto para la toma de agua y un minuto adicional por la disminución de velocidad al entrar a descargar, las posibles maniobras de aproximación en función del incendio y las interacciones con otras aeronaves actuantes.

Tabla 20. Cadencia de descargas en función de distancia y densidad de pto. de agua. Fuente. Vázquez, 2015.

Tipo de helicóptero	Distancia Pto. agua- Incendio (km)	Ptos. agua / 100 km ²	Cadencia descargas (min)
Pesado	< 3,7	> 2,8	< 5
	3,7 - 9,9	2,8 - 0,4	5 - 10
	9,9 - 18,5	0,4 - 0,1	10 - 15
	> 18,5	< 0,1	> 15
Ligero y medio	< 3,25	> 3,64	< 5
	3,25 - 8,6	3,64 - 0,52	5 - 10
	8,6 - 14	0,52 - 0,2	10 - 15
	> 14	< 0,2	> 15

Tabla 21. Capacidad extintora en función de la cadencia de descargas. Fuente. Vázquez, 2015.

Tipo de helicóptero	Cadencia de descargas (min)	Agua descargada (litros/hora)
Ligero (Helibalde de 900 l)	< 5	> 10800
	5 - 10	10800 - 5400
	10 - 15	5400 - 3600
	> 15	< 3600
Medio (Helibalde de 1200 l)	< 5	> 14400
	5 - 10	14400 - 7200
	10 - 15	7200 - 4800
	> 15	< 4800
Pesado (Helibalde de 4500 l)	< 5	> 54000
	5 - 10	54000 - 27000
	10 - 15	27000 - 18000
	> 15	< 18000

Analizando los puntos de agua presentes en la Sierra de Bascuñana, obtenemos que la densidad de los mismos es de 1,53 pto. agua/100 km², ya que sólo existe un punto de agua en toda la zona de estudio.

Para mejorar la cadencia de descargas y, por tanto, la capacidad extintora de los medios aéreos es necesario construir al menos dos puntos de agua más en la zona. Estos cálculos no tienen en cuenta la posibilidad de que un punto de agua no sea apto para la toma de agua el día del incendio por turbulencias, performance de la aeronave, etc., además debido al tiempo de cadencia de descargas y distancia desde el punto de agua a la zona de trabajo se considera como valor óptimo la presencia de cuatro aeronaves por punto de agua, basándonos en la experiencia de coordinadores de medios aéreos y pilotos. Dado que en este estudio se están simulando escenarios de *GIF*, en los que es probable que actúen un número elevado de aeronaves, es recomendable sobredimensionar la necesidad de puntos para facilitar la coordinación, organización y acumulación del tráfico de aeronaves en el entorno del incendio.

Otro de los factores a tener en cuenta a la hora de crear un punto de agua son las características del mismo en función de los helicópteros que tendrán capacidad de tomar agua en él. Las dimensiones mínimas de los puntos de agua para helicópteros pesados son 6 metros de anchura y al menos, 2.5 metros de profundidad, así como una superficie de la lámina de agua equivalente a 5 rotores (79.5 metros) alrededor del punto libre de obstáculos. Para helicópteros de tipo ligero y medio, las dimensiones mínimas que debe presentar el punto son de 4 metros de diámetro, 1,5 metros de profundidad y cinco rotores de superficie libre de obstáculos desde cualquier punto del depósito, generalmente 8 metros para helicópteros ligeros y 11 metros para helicópteros medios.

Para priorizar las posibles zonas en las que ubicar puntos de agua, se ha cruzado información de zonas de influencia comprendidas entre 2 y 3,25 km. desde cada *PEG* obtenido, como zonas de equilibrio entre la proximidad de los puntos de agua a los *PEGs* y la capacidad de ordenar el tráfico de varias aeronaves. En la siguiente figura (ver *Figura 19*) se representan las zonas que reúnen dichas condiciones para el mayor número de *PEGs*.

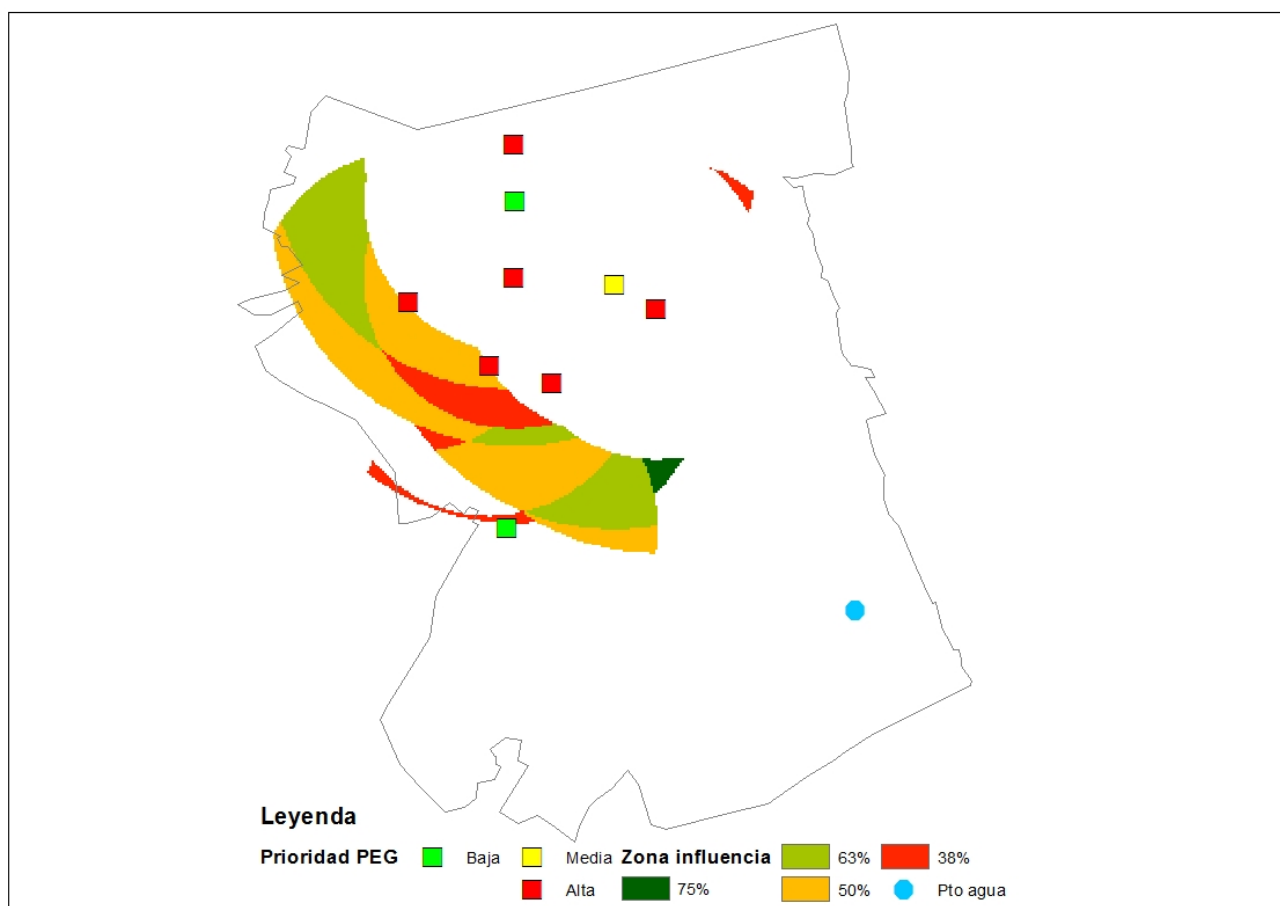


Figura 22. % de PEGs que cubren las zonas seleccionadas para ubicar ptos de agua. Fuente. Elaboración propia.

5.3.3. Accesos para equipos de extinción y maquinaria pesada

La dificultad que encuentran los equipos de extinción, entendiendo los mismos como brigadas, autobombas y maquinaria pesada, tiene gran influencia en la probabilidad de contener un incendio. Uno de los objetivos de este estudio es poder realizar maniobras rápidas y de fácil consolidación. Para ello, se ha propuesto una modificación del combustible en zonas estratégicas apartados anteriores. Tan importante es este factor como la posibilidad de acceso de los equipos de extinción a la zona de trabajo, por tanto, es necesario realizar un estudio previo de las limitaciones de acceso. Estas limitaciones vendrán definidas por la pendiente del terreno y la densidad de vías de comunicación para el movimiento de vehículos. En este estudio, el límite se ha establecido en pendientes mayores del 55% debido a las limitaciones de trabajo de la maquinaria forestal pesada, fijado en un 45% para trabajos en curva de nivel y un 55% para trabajos en línea de máxima pendiente en sentido ascendente (García, 2015).

La red de caminos y áreas cortafuegos de la zona de estudio se representa en la *Figura 23*.

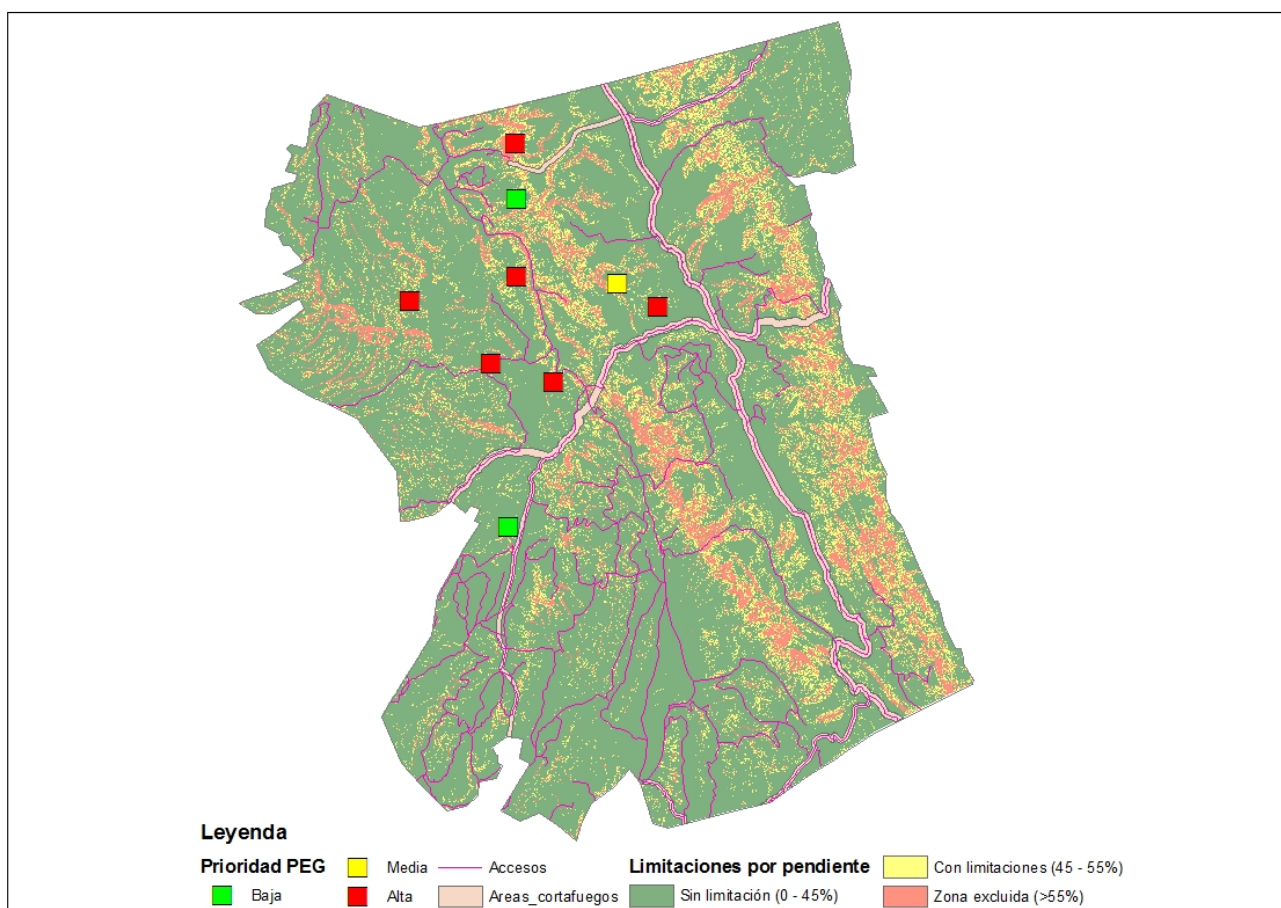


Figura 23. Red de caminos y áreas cortafuegos de la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

De forma general, la red de infraestructuras de la zona de estudio es buena, sin embargo, las mayores deficiencias en lo que a accesos se refiere se localizan en zonas en las que existen PEGs prioritarios, por lo que la mejora de accesos es un factor importante a la hora de planificar las ZOMOEX, cuestión a abordar en detalle al diseñar cada una de ellas. En un estudio previo, se ha considerado como distancia máxima entre los accesos y los PEGs la correspondiente a 20 mangueras de 20 metros, tras realizar una consulta a conductores de autobombas, muchas de ellas llevan este número de tramos de manguera, despreciando aquellas con mayor número de tramos que mejoran lo expuesto en este estudio. Esta será la distancia a la que una brigada podrá realizar maniobras de ataque directo con apoyo de autobomba.

Con estos datos, se ha realizado un tratamiento de zonas de influencia en ArcGIS de 300 metros alrededor de los accesos para localizar aquellos PEGs en los que no se podría realizar el tipo de ataque descrito anteriormente con el material estándar disponible. Al valor estándar de longitud de tendido de mangueras

(400 metros) se le restó 100 metros por posibles pérdidas para superar desniveles, ya que la herramienta *Buffer* de ArcGIS considera distancias lineales.

En la siguiente figura (ver *Figura 24*) se muestran los resultados obtenidos.

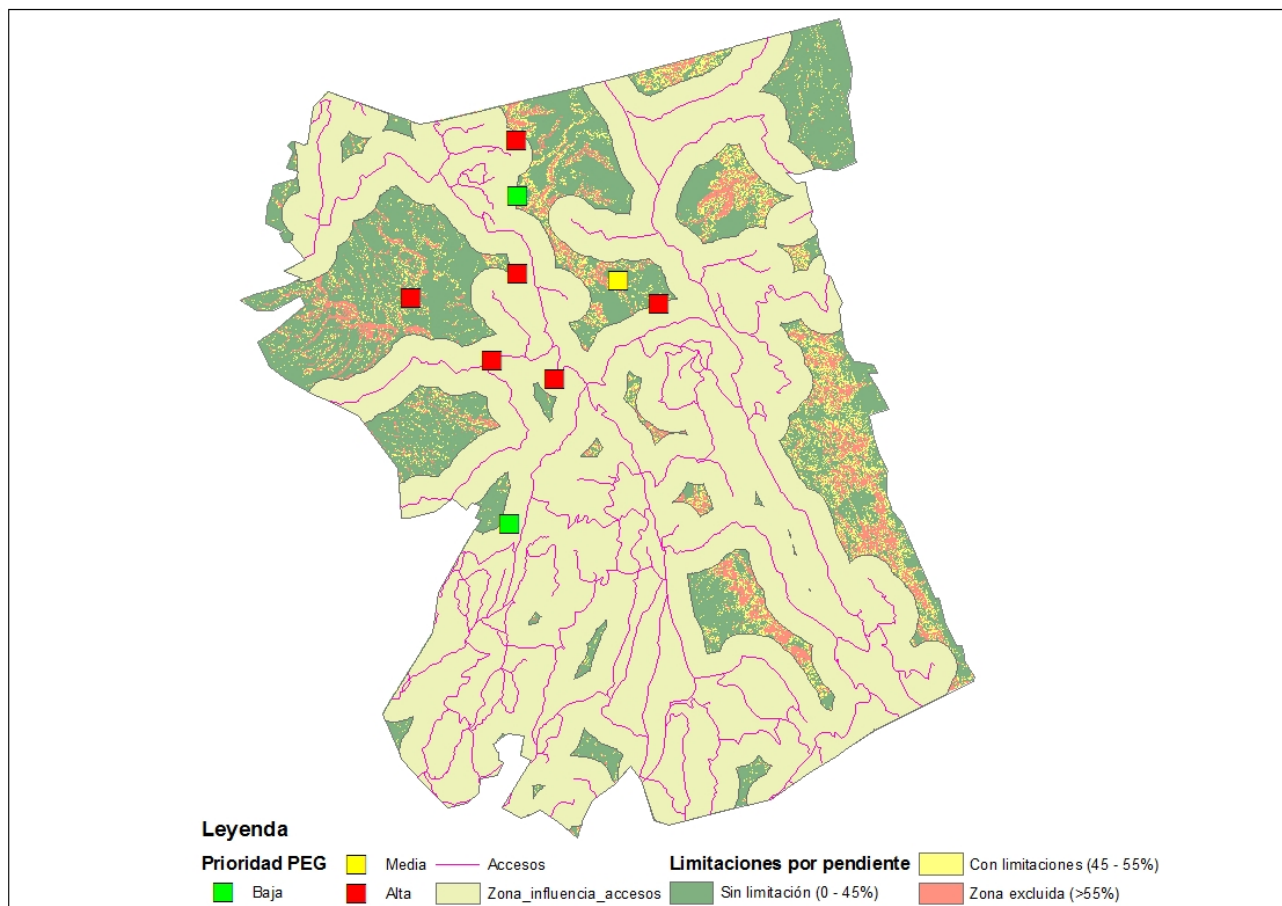


Figura 24. Deficiencias de acceso para realizar ataque directo en la zona de estudio. Fuente. Elaboración propia.

Así mismo y de forma específica, en cada PEG se podrán plantear accesos como apoyo al plan de operaciones propuesto para cada uno de ellos, de forma que ayuden a realizar maniobras de rápida consolidación.

5.3.3. Plan de operaciones tipo

Tras el análisis de la tipología de incendios característica de la zona de estudio, podemos conocer las características principales que explican el movimiento esperado de un *GIF*, identificando su esquema de propagación. Por tanto, no se debe esperar al día del incendio para buscar las oportunidades sino anticiparse planteando estrategias, tácticas y maniobras previamente en base al comportamiento esperado. Para cada “*Incendio tipo*” se generan oportunidades con características comunes y, en consecuencia, PEGs con localizaciones, objetivos y características similares.

En el PEG 8 se va a diseñar el plan de operaciones tipo para un incendio de viento con alineación topográfica y viento de componente oeste. La topografía de la zona se caracteriza por un fondo de valle que canalizará el viento general aumentando su velocidad al disminuir la sección de paso entre dos laderas con orientación de umbría hacia la zona de flanco izquierdo y solana hacia la zona de flanco derecho.

En la *Figura 25*, se muestran los principales ejes de propagación en situaciones de viento oeste una vez que el incendio toca el PEG y la línea de control establecida sobre un modelo de sombras que representa la orientación de las laderas.

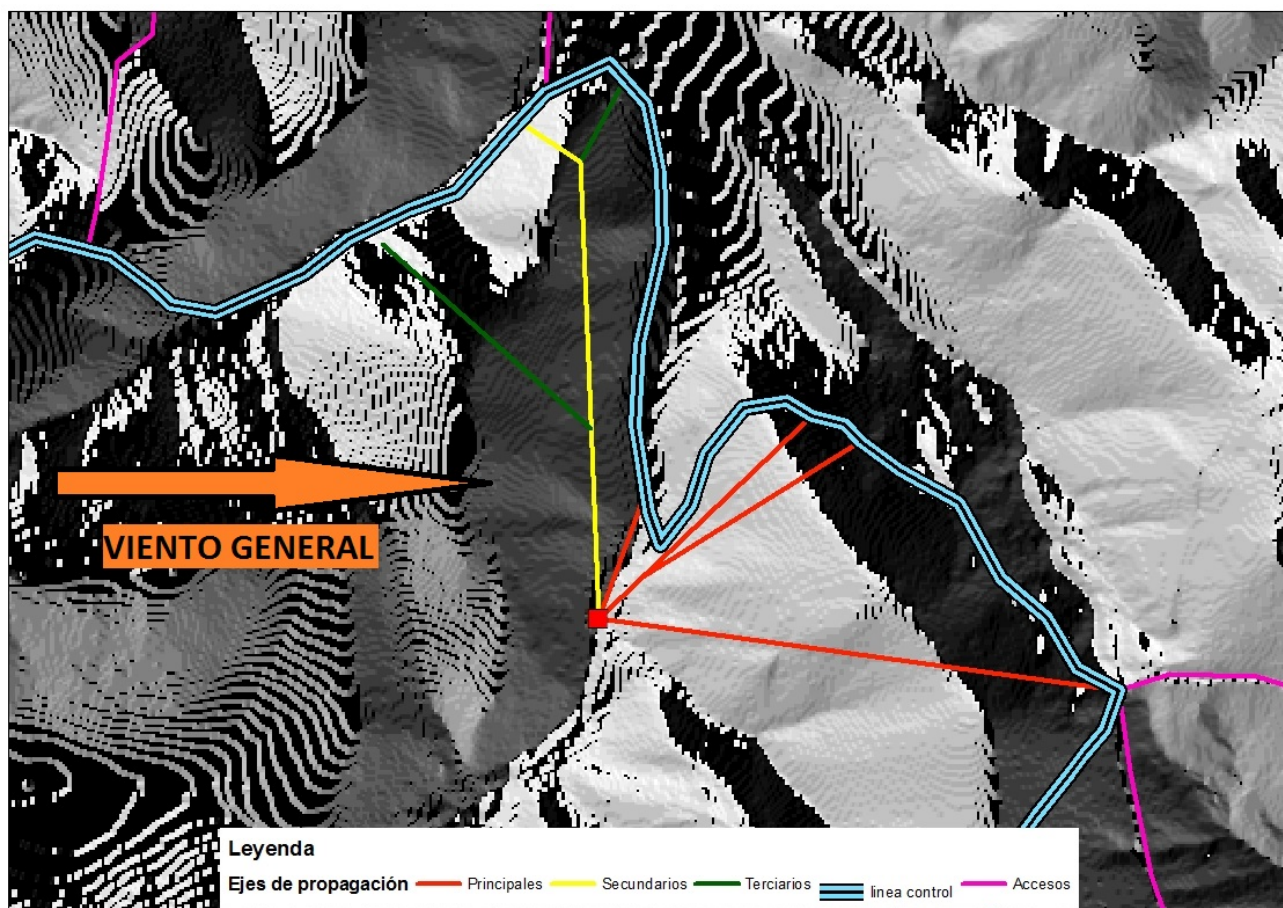


Figura 25. Ejes de propagación y línea de control en condiciones de viento oeste. Fuente. Elaboración propia.

La estrategia en el caso de que el incendio tocara el punto en el que se localiza el PEG 8 es a partir del anclaje de la cola flanquear rápidamente y evitar que la cabeza se ensanche confinar el potencial del incendio. La prioridad es el flanco derecho y cabeza debido a que avanza hacia laderas de solana en las se alinea la pendiente con el viento general lo cual reduce el tiempo disponible para ejecutar las maniobras por lo que el ataque se planificará desde la zona de sotavento y umbría en la que se producirá un contraviento fruto de la interacción del viento general y local además de una pérdida de alineación del frente. El flanco izquierdo evoluciona en una ladera de umbría a sotavento por lo que la ventana de actuación será mayor.

La táctica consiste en utilizar el ataque combinado sobre los dos flancos de forma simultánea, con medios aéreos actuando sobre el flanco derecho para facilitar el avance y líneas de agua de alta presión por ambos flancos para fijarlos y extinguirlos, utilizando herramientas manuales por detrás para asegurar los puntos calientes y cortar la propagación de la cabeza mediante la utilización de fuego técnico utilizando el camino como discontinuidad del combustible y con apoyo de una línea de agua de alta presión e intervenciones puntuales de medios aéreos en caso de ocurrencia de focos secundarios.

Las maniobras a ejecutar será la descarga de agua por parte de medios aéreos con línea de agua de alta presión y construcción de línea de defensa en puntos calientes en ambos flancos. En la cabeza, se utilizará una quema de ensanche apoyada por una línea de agua y puntualmente por descargas de medios aéreos.

6. CONCLUSIONES

Los incendios forestales han aumentado su frecuencia e intensidad presentando comportamientos de *Gran Incendio Forestal* en escenarios meteorológicos adversos, que consecuencia del cambio climático son cada vez más frecuentes. Este tipo de comportamientos también se encuentran estrechamente relacionados a acumulaciones de combustibles en los montes y situaciones de gran disponibilidad de los mismos.

En la provincia de Cuenca, los escenarios meteorológicos de ocurrencia de *GIFs* se encuentran asociados a condiciones sinópticas de sur caracterizadas por entradas de la masa de aire continental sahariana que genera temperaturas altas, humedades relativas bajas sin recuperaciones nocturnas de humedad, poniendo en disponibilidad gran cantidad de combustibles (vivos y muertos). La variable que condiciona más este tipo de comportamientos es el viento, presente en las tres tipologías de *GIFs* con mayor peso. En cuanto a superficie afectada se refiere, son los incendios de viento con alineación topográfica los que presentan una mayor área quemada.

La metodología de localización de *Puntos Estratégicos de Gestión* y diseño de *Zonas de Mejora de Operaciones de Extinción* se considera válida como programa de defensa contra incendios forestales que limiten la propagación de *GIFs*. Para ello, se han propuesto mejoras para subsanar deficiencias detectadas en la Sierra de Bascuñana que la hacían vulnerable a los *GIFs* y se describen a continuación:

1. Modificación de modelos de combustible que en escenarios de ocurrencia de *GIFs* se encontraban fuera de capacidad de extinción por otros de baja carga que permiten realizar operaciones de extinción en condiciones de seguridad bajo dichas condiciones.
2. Implementación de nuevos puntos de agua ya que el agua es uno de los principales factores en los que basamos las operaciones de extinción que optimicen el trabajo tanto de medios aéreos como terrestres. La red de puntos de agua actual presentaba limitaciones para la eficacia y eficiencia del trabajo de medios aéreos sobre la zona, pudiendo generar situaciones de acumulación de tráfico o baja cadencia de descargas en situaciones de ocurrencia de *GIFs*. Desde el punto de vista de la optimización de ambos factores se considera ideal la distancia de 2 a 3,25 km. desde cada *PEG* al punto de agua.
3. Creación de accesos de apoyo a las operaciones de extinción para los equipos de extinción terrestres que se encuentren a menos de 300 metros de cada *PEG*, ya que la dificultad de acceso se encuentra relacionada con la probabilidad de contener un incendio y la posibilidad de realizar maniobras rápidas y de fácil consolidación.
4. Definición de *Planes de Operaciones* previos a la ocurrencia de *GIFs* en base al movimiento esperado de los mismos, identificando su esquema de propagación y adelantando al incendio la búsqueda de oportunidades de forma que se dedica menor tiempo a la planificación de la extinción del incendio y se mejora la toma de decisiones.

Analizando los resultados en términos de superficie tratada, la metodología *PEG* supone una mejora de la eficiencia frente a la metodología tradicional, con una superficie de modificación propuesta de 184 ha frente a 494 ha que ocupan las infraestructuras de defensa contra incendios actuales. Esto supone una mejora importante de gestión de los recursos económicos dedicados a la prevención de incendios forestales

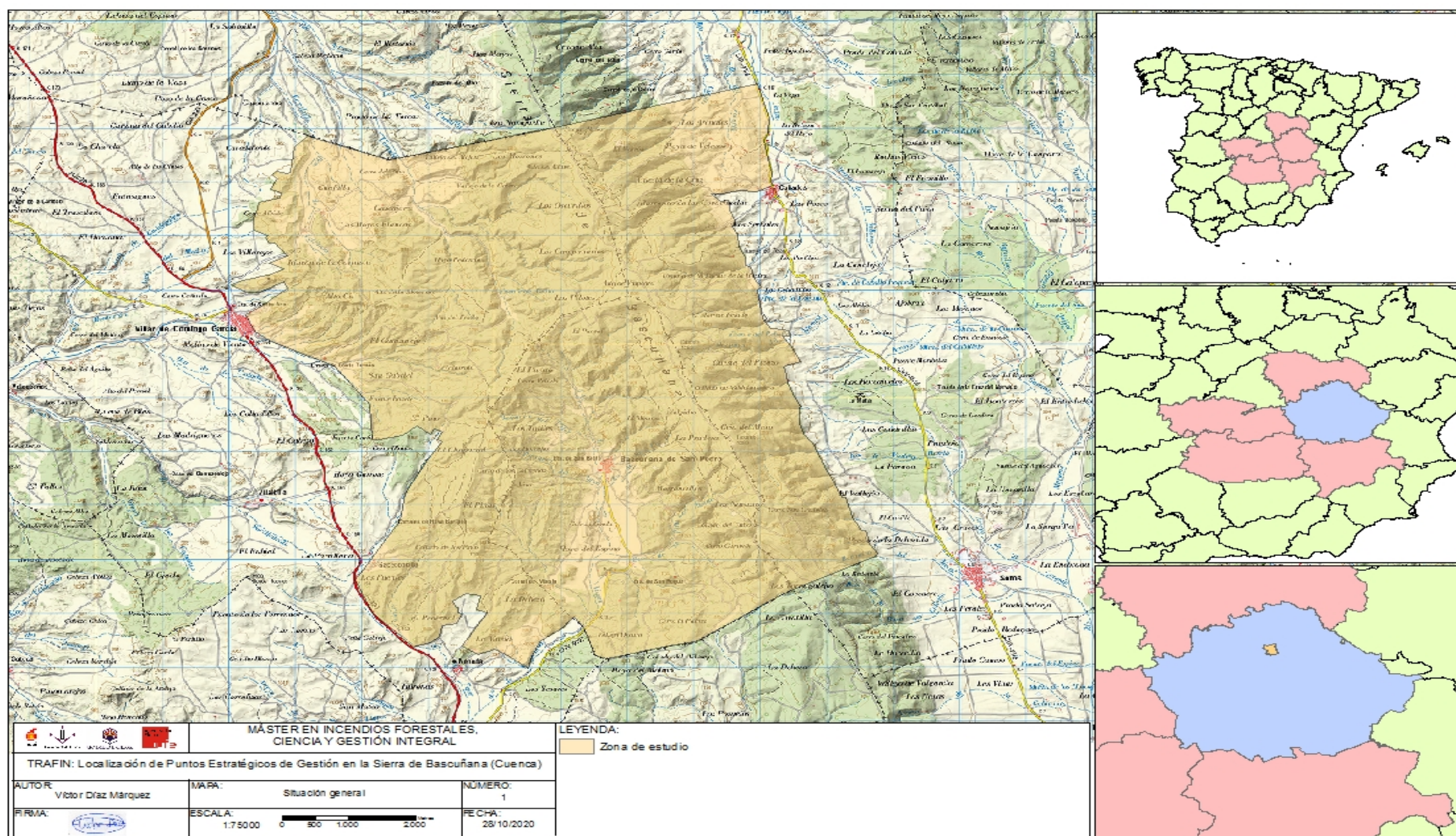
7. BIBLIOGRAFÍA

- Acebrón, M.L. (2017). Tipificación incendios forestales provincia Guadalajara (Castilla-La Mancha). Revista Foresta 39.
- Albini, F. (1976). Estimating wildfire behavior and effects. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-30, 92 pp.
- Allué-Andrade J.L. (1990). Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías. MAPA. INIA. Colección Monografías INIA, n.º 69. Madrid. 221 p.
- Anderson, Hal E. (1970). Forest fuel ignitability. Fire Technol. 6(4):312-319, 322.
- Byram, G. M. (1959). Combustion of forest fuels. In Forest fire: control and use. (K.P. Davis, Ed.) 61-89.
- Campbell, D. 1995. The Campbell Prediction System: A Wild Land Fire Prediction System & Language. D. Campbell ed. 129 p.
- Castellnou, M., Pagés, J., Miralles, M. y Piqué, M. (2009). Tipificación de los incendios forestales de Cataluña. Elaboración del mapa de incendios de diseño como herramienta para la gestión forestal. 5º Congreso Forestal Español (Ávila), SECF.
- Castro, X., Gabriel de Francisco, E., Serrano, E., Monserrat, D., Tudela, A., Canyameres, E. (2007). Valoración de la humedad en el seguimiento del estado de la fracción fina viva de la vegetación con relación al riesgo de incendio forestal. Servicio de Prevención de incendios forestales. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya. Wildfire Sevilla.
- Chandler, C., Cheney, P., Thomas, P., Trabaud, L., & Williams, D. (1983). Fire in forestry. Volume 1. Forest fire behavior and effects. Volume 2. Forest fire management and organization. John Wiley & sons, Inc.
- Costa, P., Castellnou, M., Miralles, M., Kraus, D. (2011). La prevención de los Grandes Incendios Forestales adaptada a los Incendios Tipo. FireParadox, EFI, GRAF – Bombers de la Generalitat de Cataluña. 87 p. Barcelona.
- De Luis, M., González-Hidalgo J.C., Raventós, J. (2003). Effects of fire and torrential rainfall on erosion in a Mediterranean gorse community. Land Degradation & Development 14: 203-213.
- Domènech, R., Piqué, M., Beltrán, M., Cervera, T., Larrañaga, A. (2017). Actuaciones selvícolas en zonas estratégicas para la prevención de incendios en bosques de *Pinus nigra*: tratamientos mecánicos y quemas prescritas. 7º Congreso Forestal Español.
- Escrig, A., López C Catalá, F. y Ruiz, M. (2013). "Plan de prevención de Incendios forestales de la Reserva Valenciana de Caza de la Muela de Cortes". Grupo VAERSA.
- Finney, M. A. (2006). An overview of FlamMap fire modeling capabilities. In: Fuels management—how to measure success: conference proceedings. 2006 March 28-30; Portland, Oregon. Proceedings RMRS-P-41. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station: 213-220. (647 KB; 13 pages).
- García, J.B. (2015). Maquinaria pesada. En la extinción de incendios forestales. Aifema. ISBN 10: 8460682633 / ISBN 13: 9788460682639
- Graham R.T., McCaffrey, S., Jain, T.B. (2004) Science basis for changing forest structure to modify wildfire behavior and severity. USDA For. Serv. General Technical Report RMRS_GTR120.
- Madrigal, J., Romero-Vivo, M., Rodríguez y Silva, F. (2019) Definición y recomendaciones técnicas en el diseño de puntos estratégicos de gestión. "Decálogo de Valencia" para la defensa integrada frente a los incendios en la gestión del mosaico agroforestal. Sociedad española de ciencias forestales (SECF), Generalitat Valenciana ISBN: 978-84-941695-4-0
- Mitrakos, K. A. 1980. A theory for Mediterranean plant life. Acta Oecol. 1: 245–252.

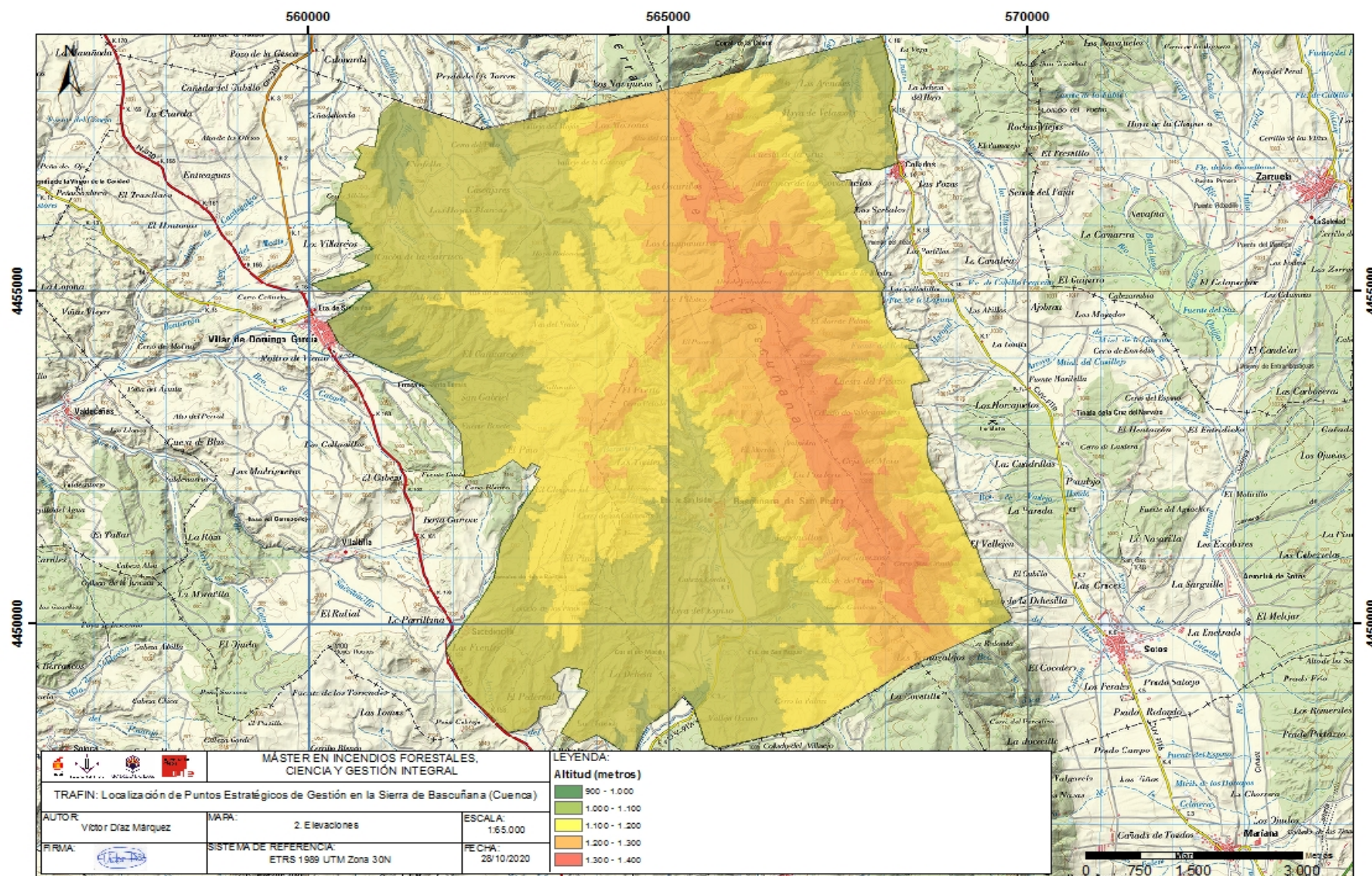
- Molina-Terrén, D.M., Xanthopoulos, G., Diakakis, M., Ribeiro, L., Caballero, D., Delogu, G.M., Viegas, D.X., Silva, C.A., Cardil, A. (2019). Analysis of forest fire fatalities in Southern Europe: Spain, Portugal, Greece and Sardinia (Italy). *International Journal of Wildland Fire*, January 2019. Doi 10.1071/wf18004.
- Mooney, H.A. & Dunn, E.L. (1970) Convergent evolution of mediterranean-climate evergreen sclerophyll shrubs. *Evolution*, 24, 292–303
- Pausas, J.G. (2004). Changes in fire and climate in the eastern Iberian Peninsula (Mediterranean basin). *Climatic Change* 63: 337-350.
- Peñuelas, J., Lloret, F. y Montoya, R. (2001). Severe drought effects on Mediterranean woody flora in Spain. *Forest Science* 47 (2): 214-218.
- Piqué, M., Castellnou, M., Valor, T., Pagés, J., Larrañaga, A., Miralles, M., Cervera, T. (2011). Integració del risc de grans incendis forestals (GIF) en la gestió forestal: Incendis tipus i vulnerabilitat de les estructures forestals al foc de capçades. Sèrie: Orientacions de gestió forestal sostenible per a Catalunya (ORGEST). Centre de la Propietat Forestal. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural. Generalitat de Catalunya. Barcelona. 122 p
- Piqué, M., Domènech, R., (2017). Effectiveness of mechanical thinning and prescribed burning on fire behavior in *Pinus nigra* forests in NE Spain, *Sci Total Environ*.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.316>
- Quílez, R. & Chinchilla, S. (2013). Modelos de combustible en la provincia de Valencia. *Congresos Forestales*.
- Ramírez, J., Monedero, S., & Buckley, D. (2011). New approaches in fire simulations analysis with Wildfire Analyst. In 7th International Conference on Forest Fire Research.
- Ramírez, J., Blanco, J., Cerrillo, A., Marqués, G., Valcarce, R., & Llordén, J. M. (2013). Generación de cartografía de modelos de combustible a partir de datos LiDAR y análisis de imágenes orientados a objetos para su integración en Wildfire Analyst. In *Congresos-CARGA FINAL*.
- Rodríguez-Silva, F., & Molina, J. R. (2010). Manual Técnico para la Modelización de la Combustibilidad asociada a los Ecosistemas forestales Mediterráneos. Departamento de Ingeniería Forestal. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- Rothermel, R. C. (1972). A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station.
- Rothermel, R. C. (1983). How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *The Bark Beetles, Fuels, and Fire Bibliography*, 70.
- Rothermel, R. C. (1991). Predicting behavior and size of crown fires in the northern Rocky Mountains. Res. Pap. INT-RP-438. Ogden, UT: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Intermountain Research Station. 46 p.
- Scott, J.H. y Burgan R.E. (2005). Standard Fire Behaviour Fuel Model: A Comprehensive Set for use with Rothermel's Surface Fire Spread Model. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-153.
- Soriano, J.L., Quílez, R. (2017). Análisis de la humedad del combustible vivo en la Comunitat Valenciana. 7º Congreso Forestal Español (Plasencia). SECF.
- Van Wagner, C.E. (1977). Conditions for the start and spread of crown fire. *Canadian Journal of Forest Research* 7: 23–34.
- Vázquez, I. (2015). Propuesta metodológica para la gestión estratégica de los medios aéreos en los dispositivos de extinción de incendios forestales. Trabajo Fin de Máster. Máster en Incendios Forestales, Ciencia y Gestión Integral.

8. ANEXOS

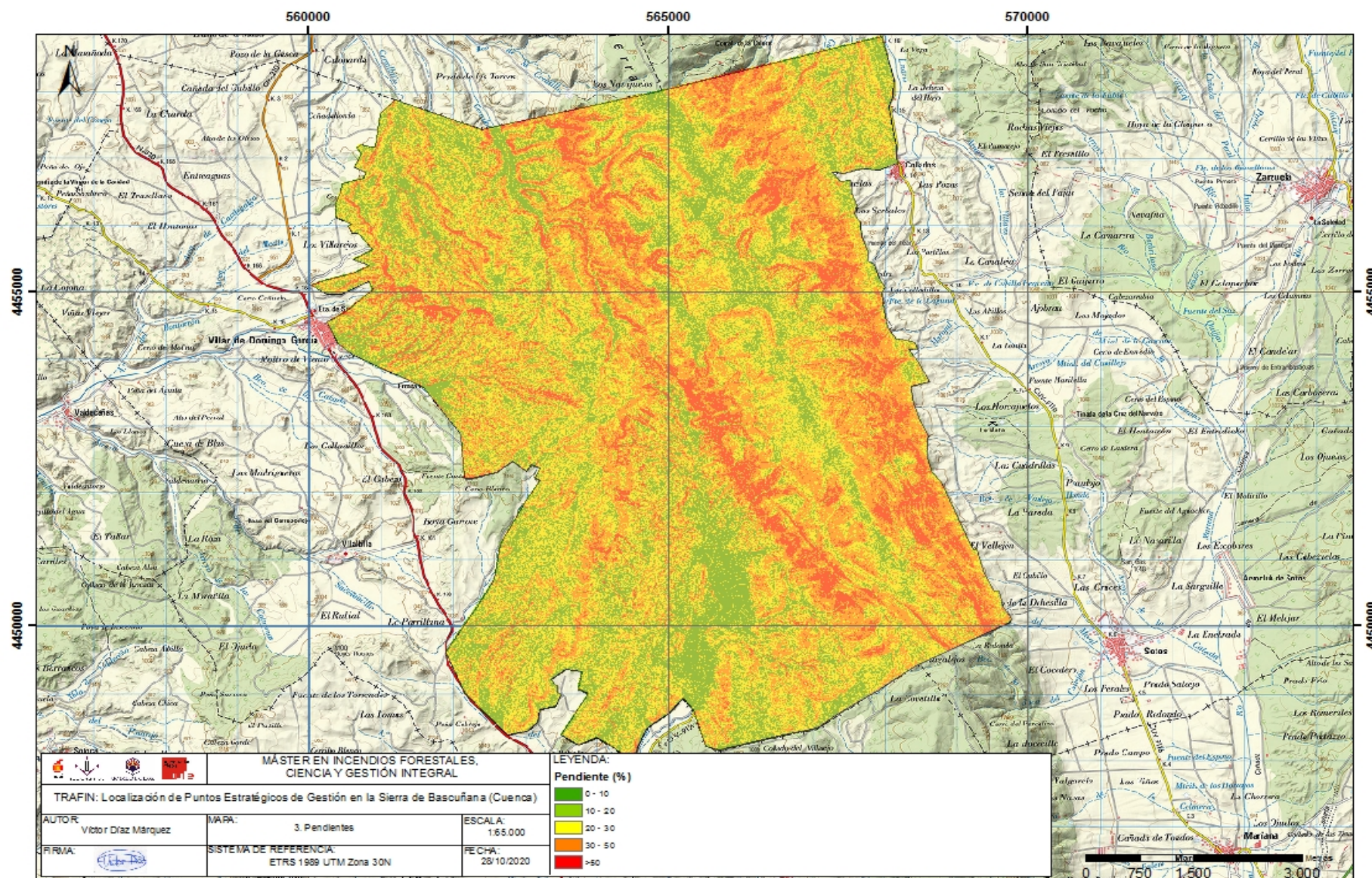
ANEXO I. SITUACIÓN GENERAL



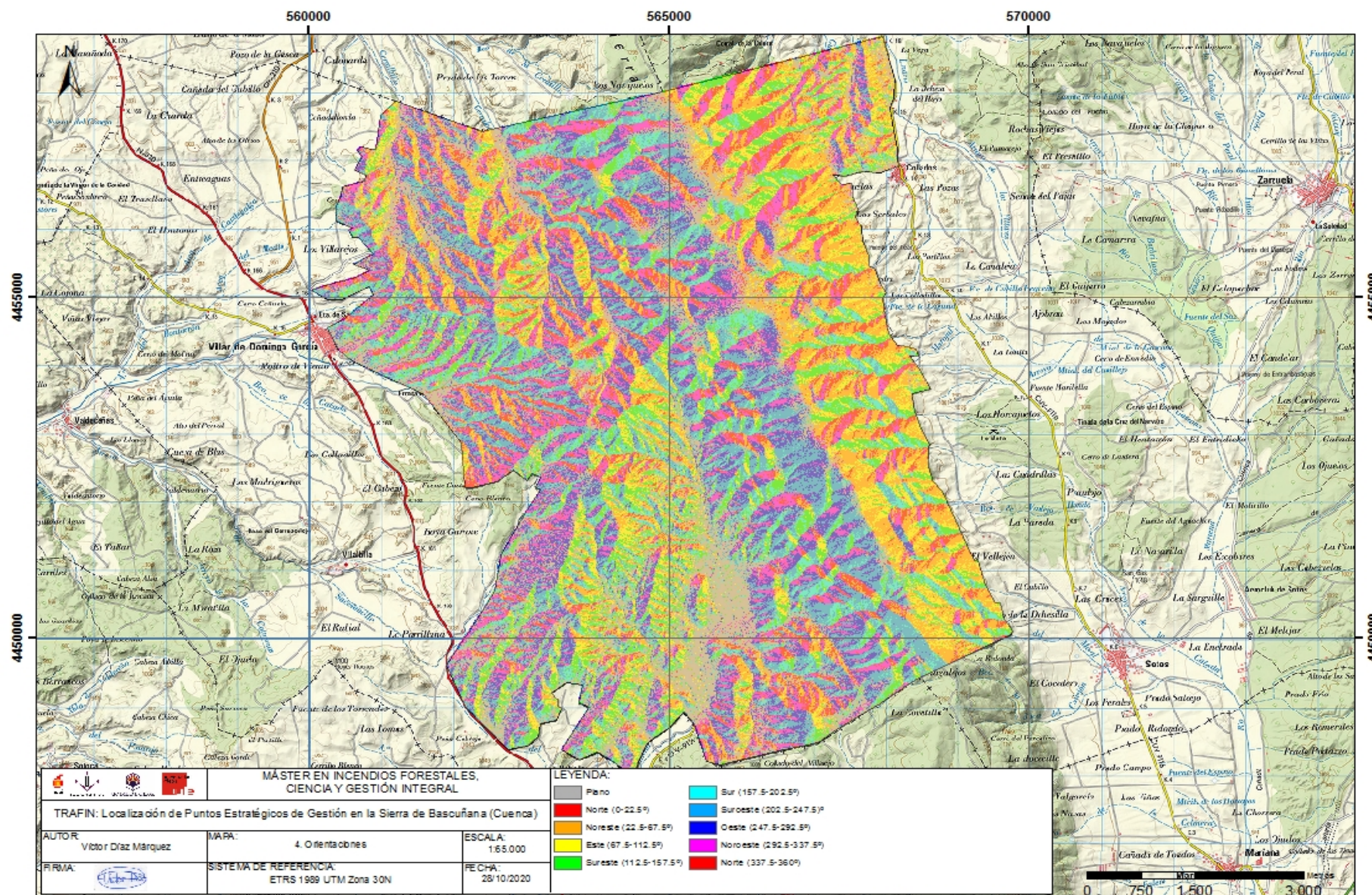
ANEXO II. MAPA DE ELEVACIONES



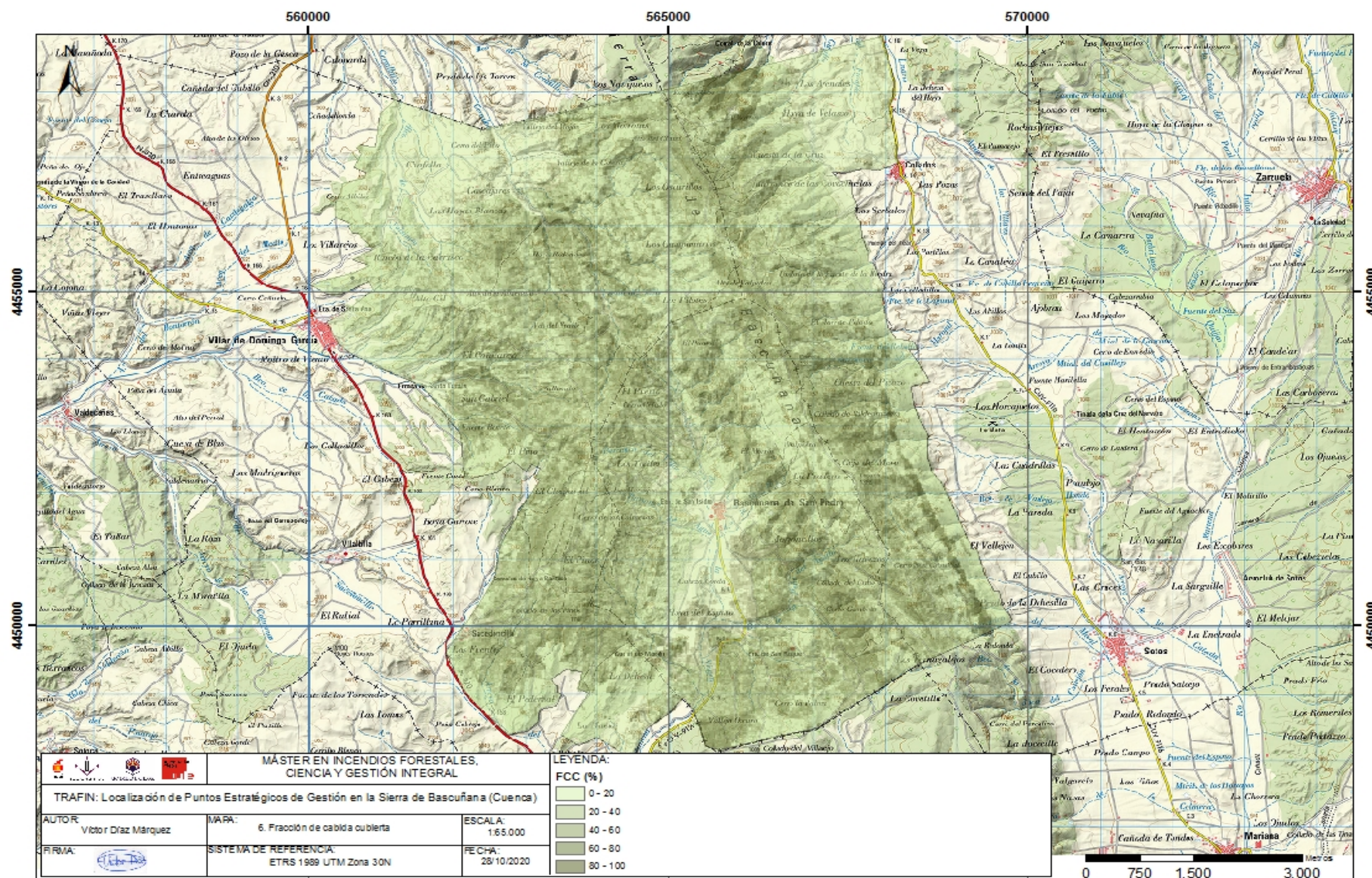
ANEXO III. MAPA DE PENDIENTES



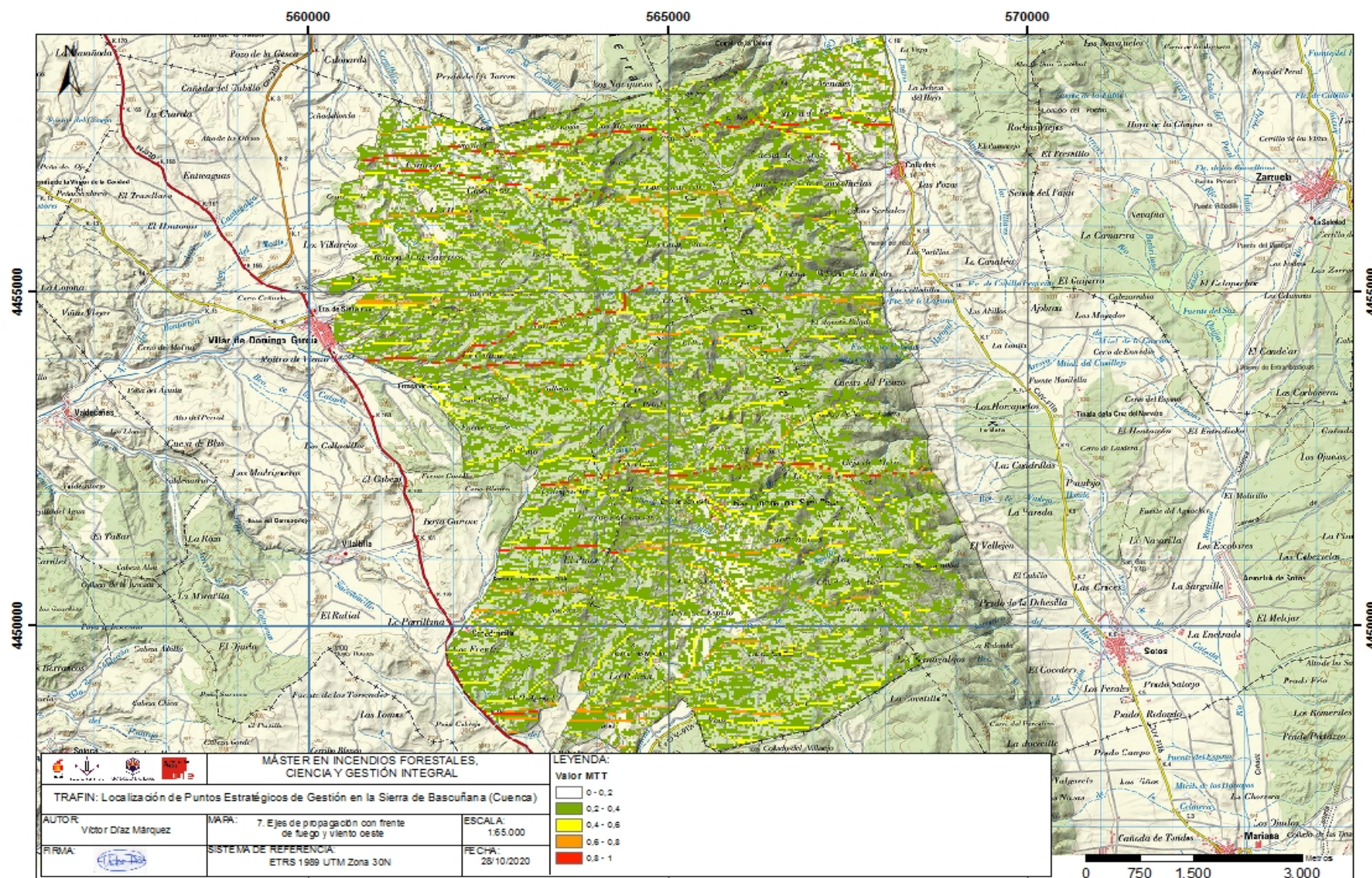
ANEXO IV. MAPA DE ORIENTACIONES



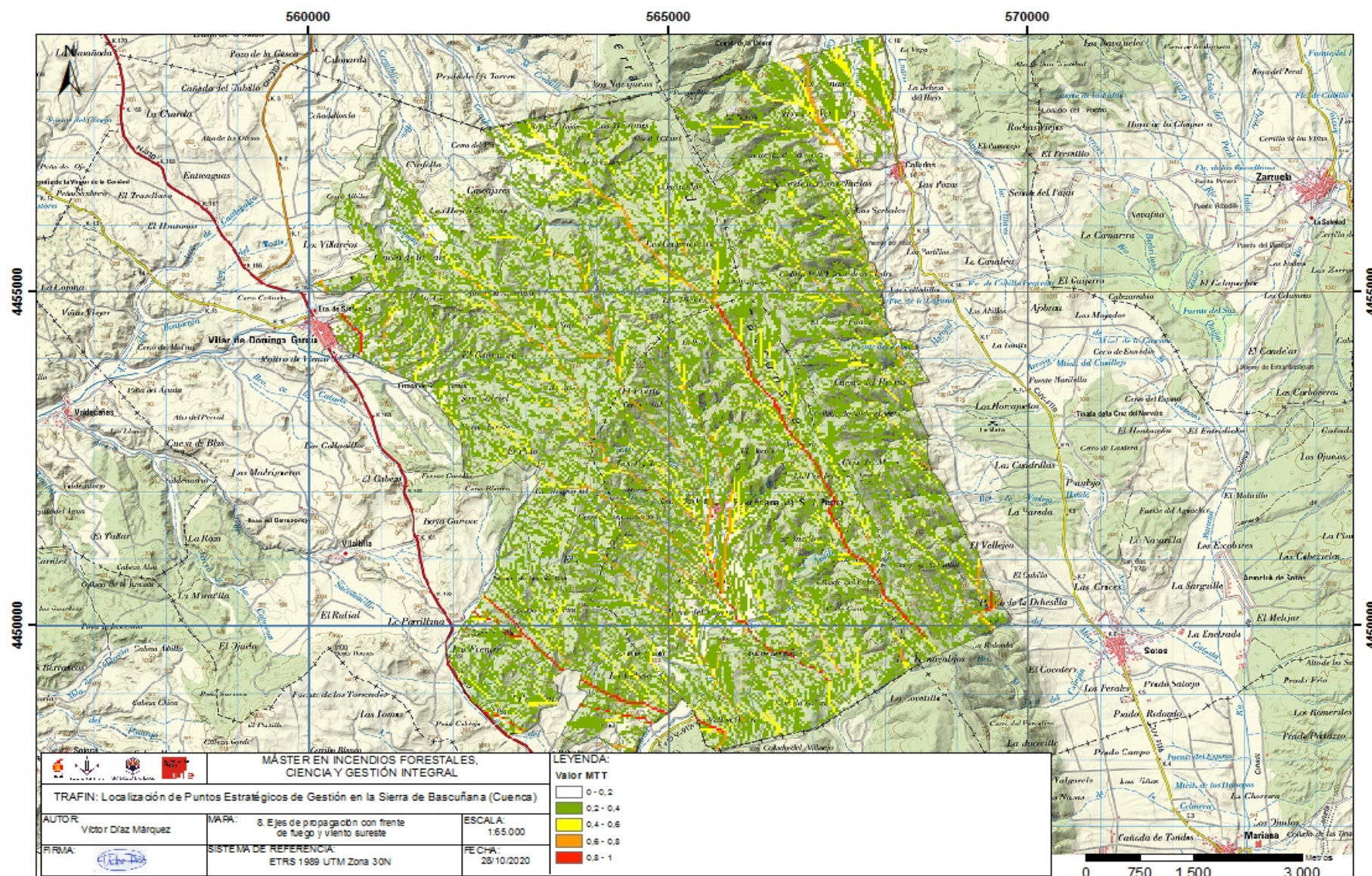
ANEXO VI. MAPA DE FRACCIÓN DE CABIDA CUBIERTA



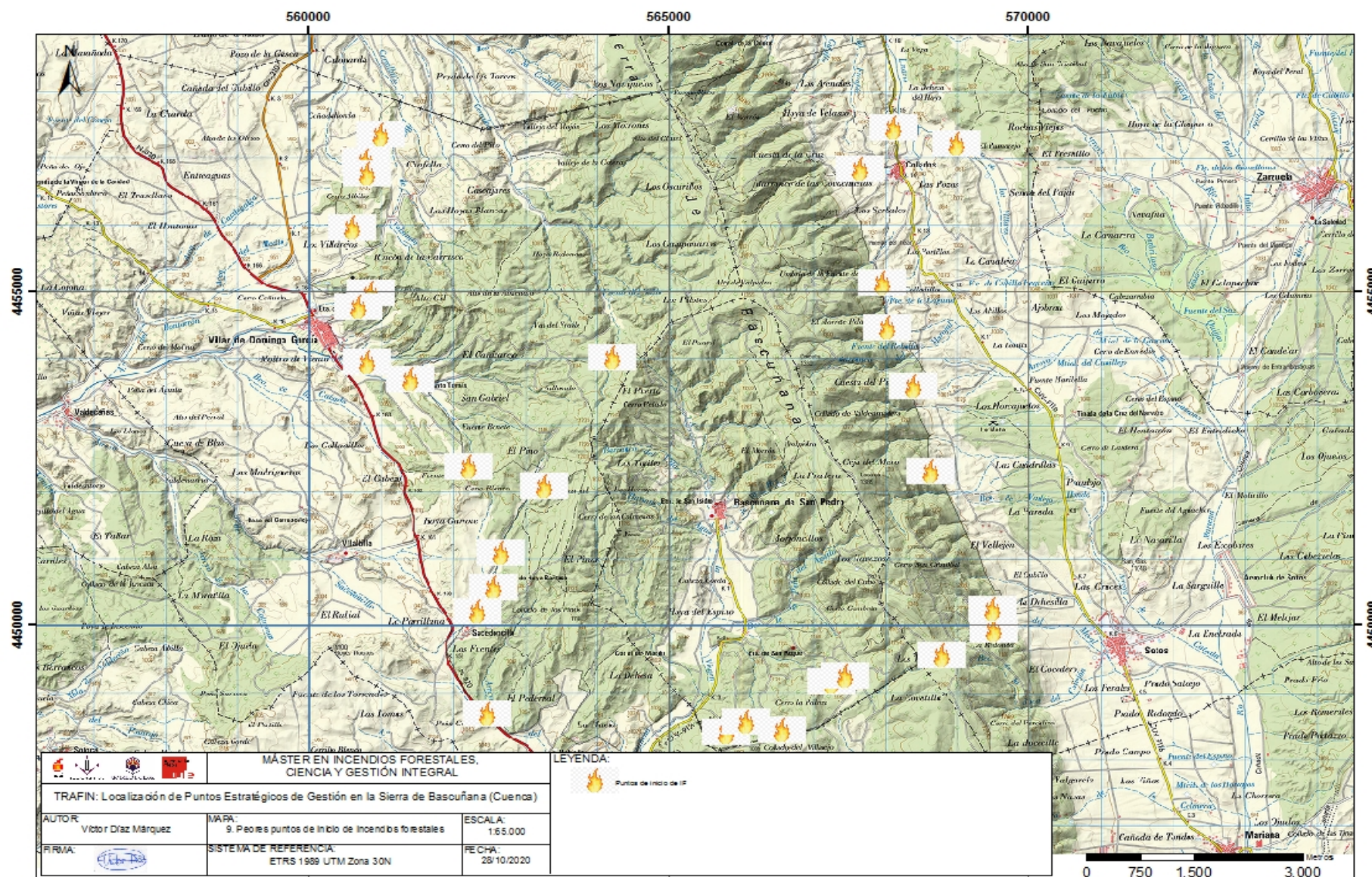
ANEXO VII. MAPA DE EJES DE PROPAGACIÓN CON VIENTO Y FRENTE DE FUEGO OESTE



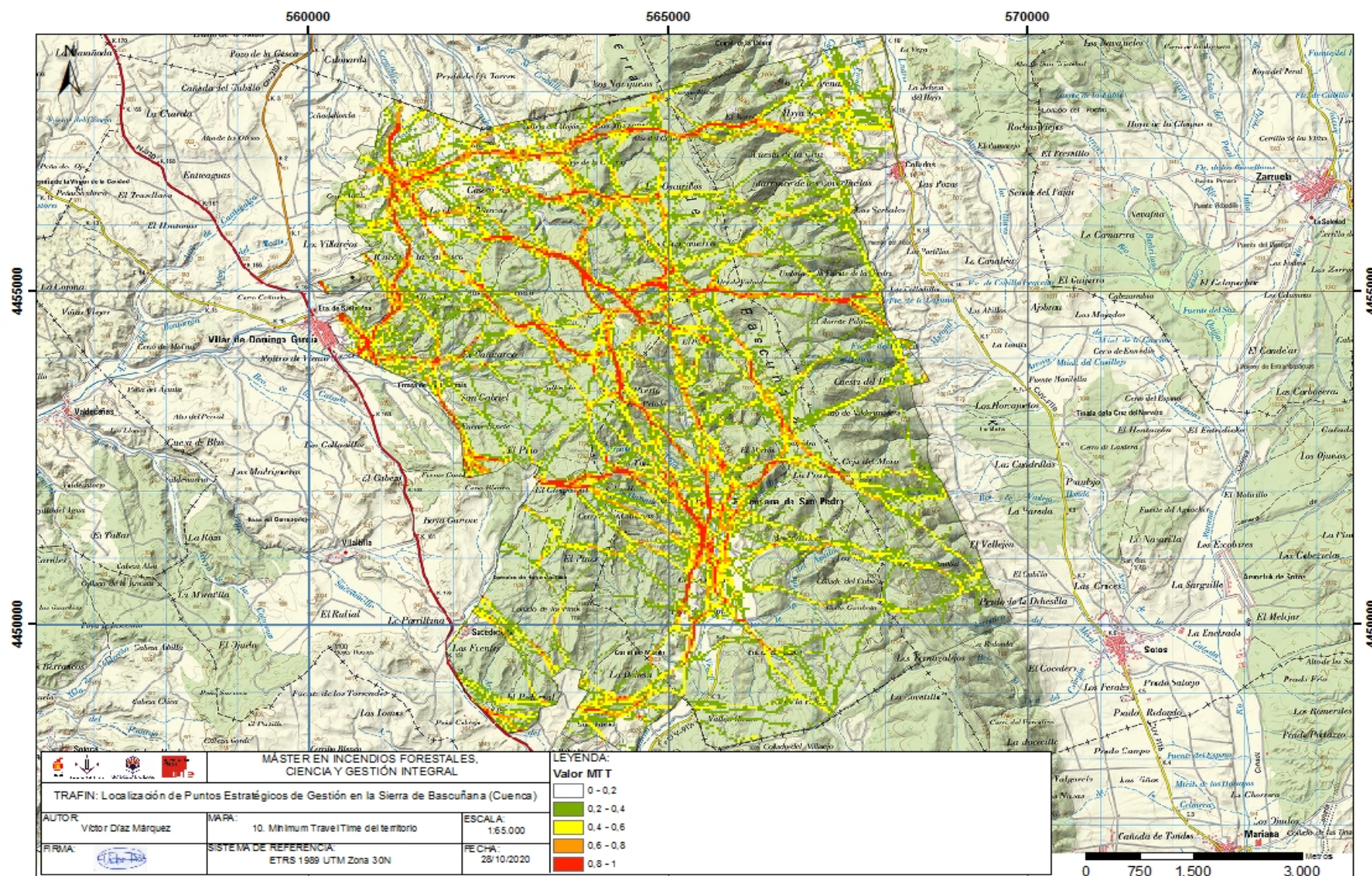
ANEXO VIII. MAPA DE EJES DE PROPAGACIÓN CON VIENTO Y FRENTE DE FUEGO SURESTE



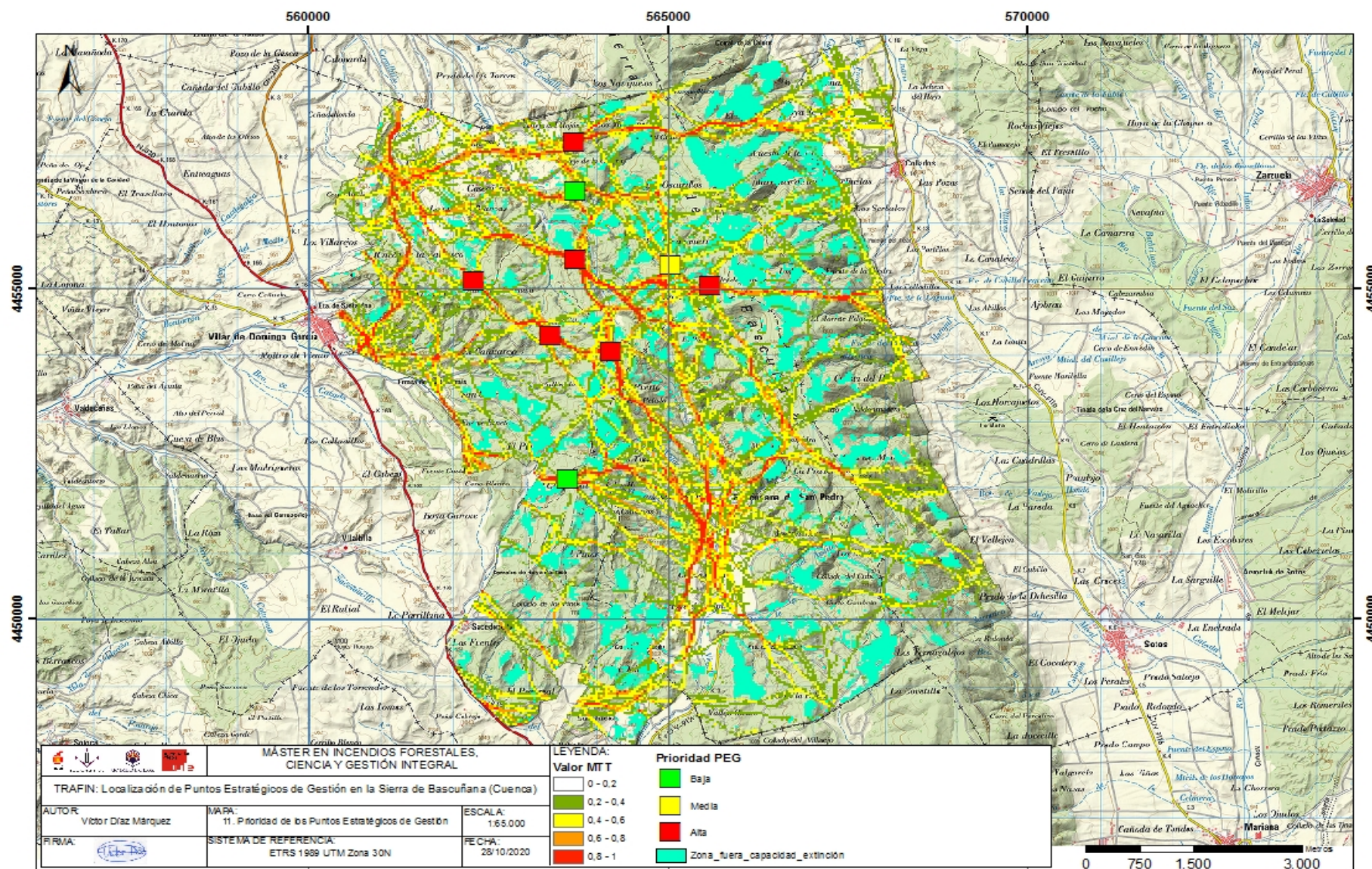
ANEXO IX. MAPA DE PUNTOS DE INICIO DE INCENDIO MÁS DESFAVORABLES



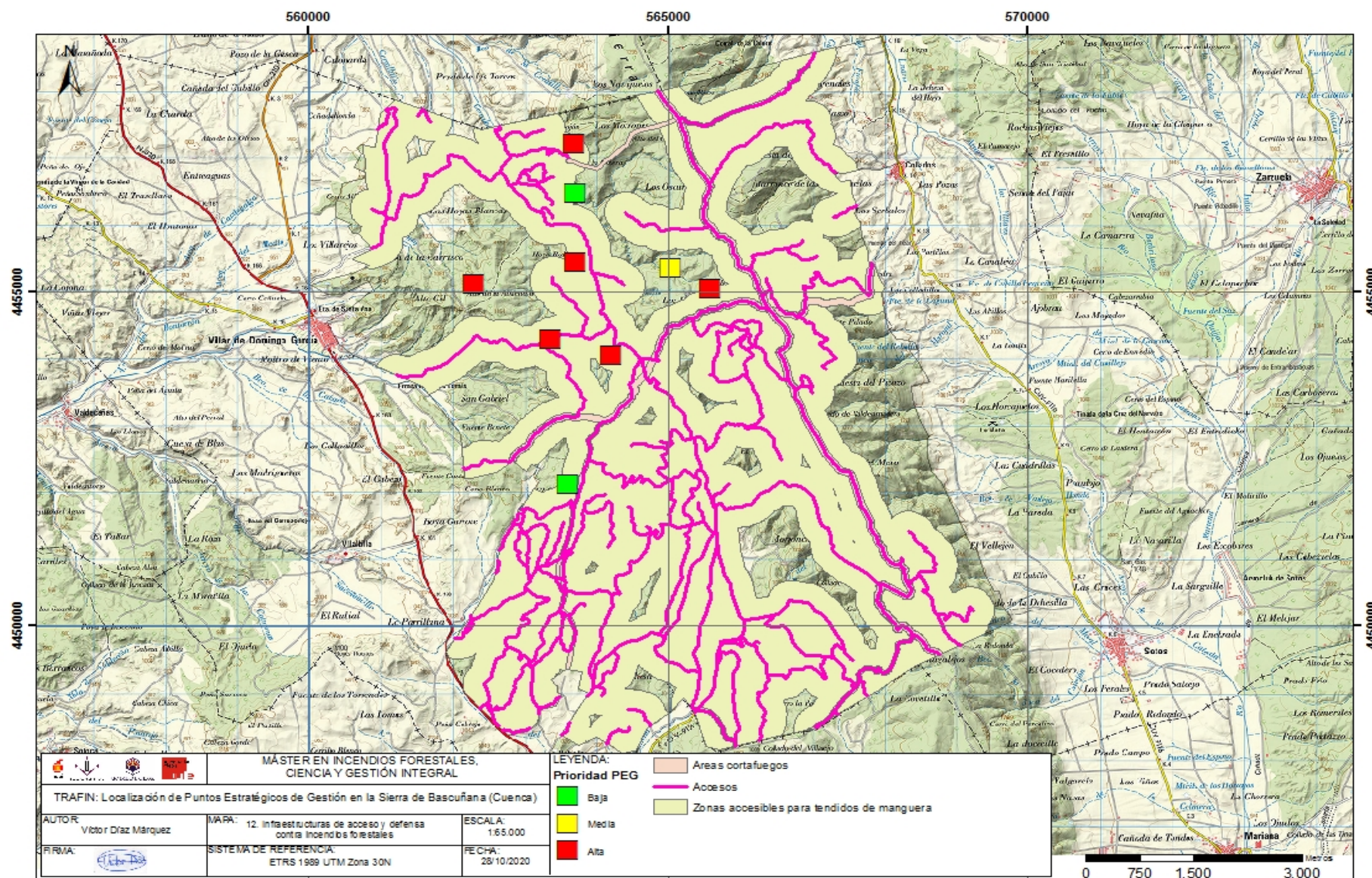
ANEXO X. MAPA DE MINIMUM TRAVEL TIME DEL TERRITORIO



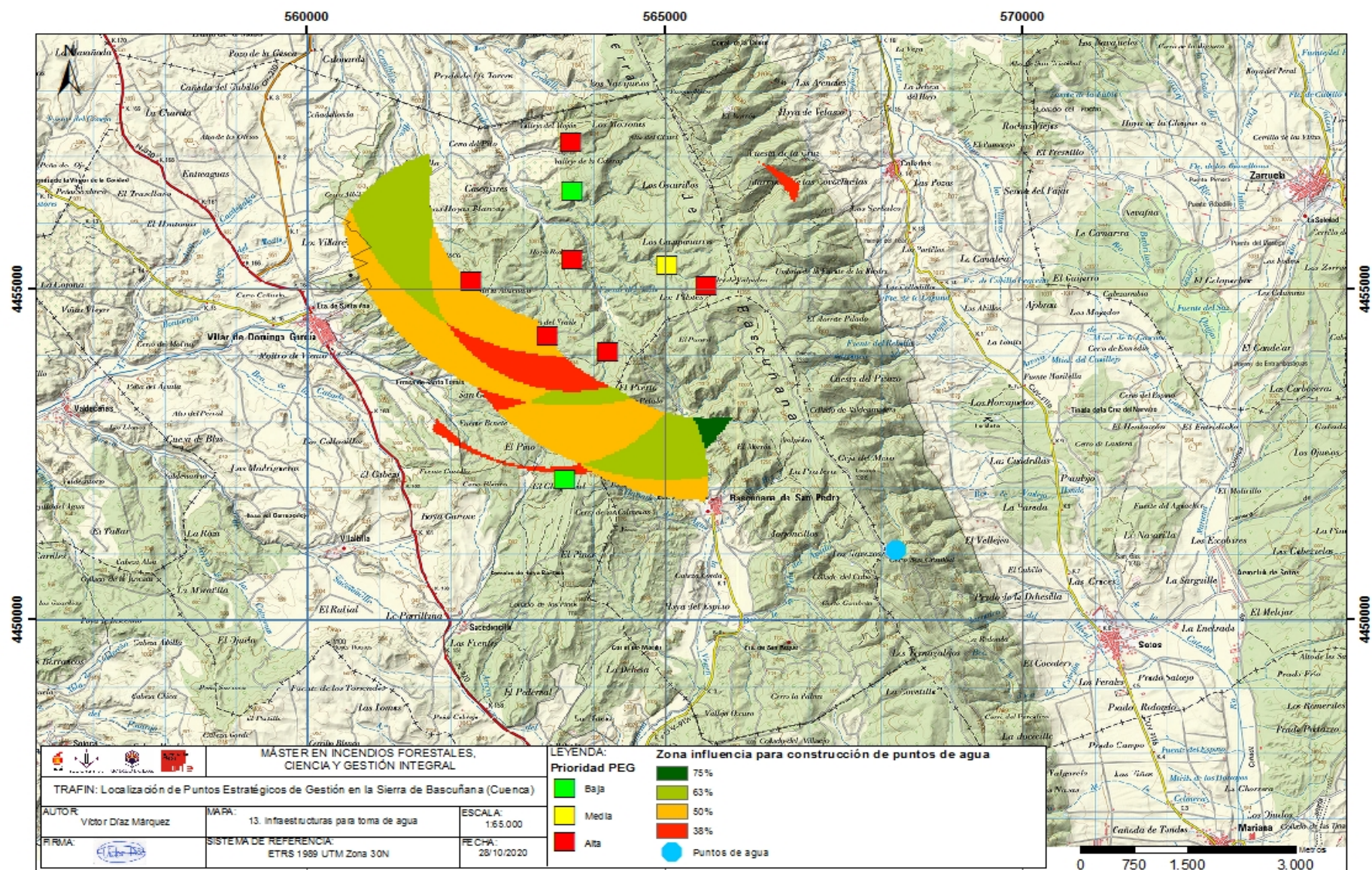
ANEXO XI. MAPA DE PRIORIZACIÓN DE PUNTOS ESTRATÉGICOS DE GESTIÓN



ANEXO XII. MAPA DE INFRAESTRUCTURAS DE ACCESO Y DEFENSA CONTRA INCENDIOS FORESTALES



ANEXO XIII. MAPA DE PUNTOS DE AGUA Y ZONAS DE INFLUENCIA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MISMOS



ANEXO XIV. MAPA DE LIMITACIONES POR PENDIENTE

